

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



# عملیات دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی

رشته صنایع شیمیایی

گروه مواد و فراوری

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه دهم دوره دوم متوسطه



وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



- نام کتاب: عملیات دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی - ۲۱۰۵۲۳
- پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
- شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: طیبه کنشلو، بهرام قنبری، اعظم صفاری، سیدرضا سیف محدثی، رابعه شیخ‌زاده، قاسم حاجی قاسمی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
- مدیریت آماده‌سازی هنری: سیدرضا سیف محدثی، سپهر صدیقی، پریسا ظاهری، فرنز فرشاد، سجاد کریمی مزیدی، طیبه کنشلو (اعضای گروه تألیف) - سپیده دبیران (ویراستار)
- شناسه افزوده آماده‌سازی: استان‌های مشارکت‌کننده در فرایند اعتباربخشی: آذربایجان شرقی، خوزستان، سمنان، فارس، کرمان، مرکزی، همدان
- مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
- شناسه افزوده آماده‌سازی: سمیه نصری (طراح جلد) - نسرين اصغری (صفحه‌آرا) - سید مرتضی میرمجیدی، سیدمیثم میرمجیدی (رسام فنی)
- نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
- تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
- وبگاه: [www.irtextbook.ir](http://www.irtextbook.ir) و [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)
- ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)
- تلفن: ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹
- چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
- سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ چهارم ۱۳۹۸

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



ملت شریف ما اگر در این انقلاب بخواهد پیروز شود باید دست از آستین  
برآرد و به کار بپردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و  
باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.

امام خمینی (قَدَسَ سِرُّهُ)



۱	پودمان اول – محاسبات در صنایع شیمیایی
۳۵	پودمان دوم – دستگاه‌های حرارتی
۵۹	پودمان سوم – دستگاه‌های دوار
۱۰۳	پودمان چهارم – راکتور و مخازن
۱۳۷	پودمان پنجم – دستگاه‌های جداکننده
۱۶۷	منابع و مآخذ

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های پیشین براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام دادن کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

۱. شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی کار با دستگاه‌های فرایندی
  ۲. شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه
  ۳. شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم افزارها
  ۴. شایستگی‌های مربوط به یادگیری همیشگی مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر
- بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین کرده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.
- این کتاب دومین کتاب کارگاهی است که ویژه رشته صنایع شیمیایی تألیف شده است و شما در طول دو سال تحصیلی پیش رو چهار کتاب کارگاهی و با شایستگی‌های متفاوت را آموزش خواهید دید. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت در شغل و حرفه برای آینده بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی کنید تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی عملیات دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحله کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌کند و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته صنایع شیمیایی طراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی است که برای سال دهم تدوین و تألیف شده است. این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی می‌بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است و نمره هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌شود که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هر یک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت‌یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بسته آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام دادن کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

پودمان اول: محاسبات در صنایع شیمیایی که در سه مرحله: به‌کارگیری یکاها و ابعاد، تبدیل یکاها و موازنه مواد ورودی و خروجی به یک سامانه آموزش داده می‌شود.

پودمان دوم: دستگاه‌های حرارتی نام دارد، که در سه بخش: کار با مبدل‌های حرارتی، کار با برج‌های خنک‌کننده و کار با خشک‌کن‌ها بیان می‌شود.

پودمان سوم: دارای عنوان دستگاه‌های دوار است. در این پودمان ابتدا کار با پمپ‌ها آموزش داده می‌شود و سپس کار با مخلوط‌کن‌ها و سانتریفیوژها و در ادامه کار با دستگاه‌های کاهش اندازه شرح داده شده است.

پودمان چهارم: راکتور و مخازن نام دارد. ابتدا سرعت واکنش و عوامل مؤثر بر آن شرح داده شده است و سپس راکتور و انواع آن و در ادامه کار با مخازن آموزش داده می‌شود.

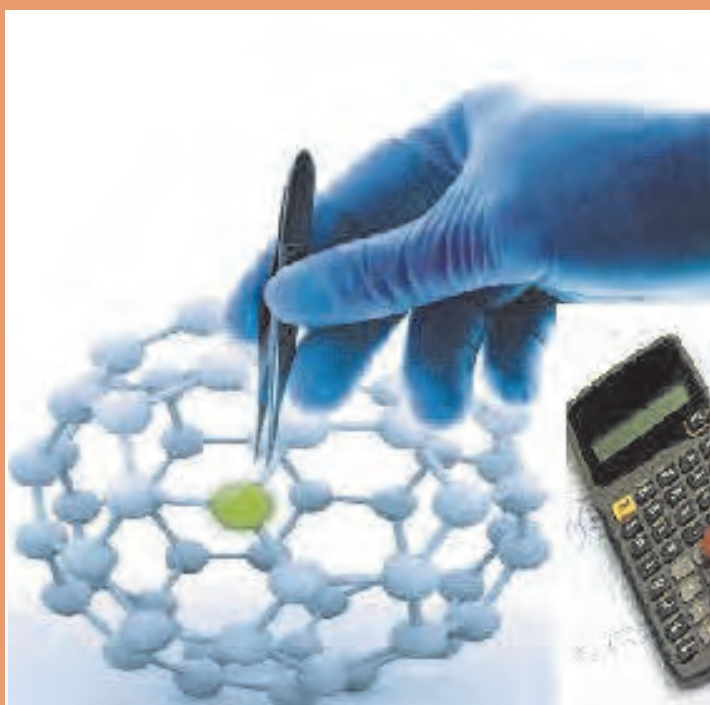
پودمان پنجم: با عنوان دستگاه‌های جداکننده است که در آن هنرجویان ابتدا با به‌کارگیری روش‌های جداسازی در صنایع شیمیایی آشنا می‌شوند و سپس کار با برج‌های تقطیر و استخراج را فرا می‌گیرند.

امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

## پودمان ۱

# محاسبات در صنایع شیمیایی



در رشته صنایع شیمیایی، روش‌های صنعتی اقتصادی برای تبدیل مواد اولیه به محصولات بررسی می‌شوند. وظیفه متخصصان صنایع شیمیایی با توجه به توسعه سریع و چشمگیر این صنعت در طراحی، راه‌اندازی و بهره‌برداری است؛ لذا برای درک و حل مسائلی که در ایجاد فناوری پیش خواهد آمد، لازم است اصول اساسی محاسبات در صنایع شیمیایی را فرا گرفت و کاربرد آن را تمرین کرد.

# واحد یادگیری ۱

## به کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

### مقدمه

برای درک مسائل پیش رو در صنایع شیمیایی انجام دادن صحیح محاسبات از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. اولین قدم در حل مسائل موجود، برقراری موازنه جرم و انرژی است. در این پودمان مباحثی در مورد انواع کمیت‌ها و یکاها در دستگاه‌های مختلف بین‌المللی و ارتباط آنها با یکدیگر، محاسبات ریاضی با کمیت‌ها، تبدیل یکاها در صنایع شیمیایی و محاسبات مربوط به موازنه جرم برای فرایندهای شیمیایی و فرایندهای فیزیکی مطرح خواهند شد.

### استاندارد عملکرد

انجام دادن عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی.

شایستگی‌های غیر فنی:

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محول، پیروی از قوانین؛
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی، انجام دادن کارها و وظایف محول؛
- ۴ مستندسازی؛
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

- ۱ به کارگیری یکاها و ابعاد؛
- ۲ تبدیل یکاها (واحد‌ها)؛
- ۳ موازنه مواد ورودی و خروجی به یک سامانه.



## ۱-۱- کمیت‌ها و یکاها<sup>۱</sup>

هر مشخصه قابل اندازه‌گیری، قابل مقایسه و قابل تغییر از یک جسم را کمیت می‌نامند. مثلاً کمیت جرم دو جسم را اندازه‌گیری می‌کنند و وزن آنها را محاسبه می‌کنند. در پایان کمیت‌های مشابه را با یکدیگر مقایسه می‌کنند.



آیا کمیت‌های دیگری را می‌شناسید؟ این کمیت‌ها با چه وسیله‌ای قابل اندازه‌گیری هستند؟

بحث گروهی ۱



هر کمیت را با سه مشخصه مقدار، یکا و بعد<sup>۲</sup> شناسایی می‌کنند، به‌عنوان نمونه قد یک هنرجو ۱۸۰ سانتی‌متر است. بنابراین مقدار این کمیت (قد) ۱۸۰ و یکای آن سانتی‌متر است. بعد هر کمیت نیز نشان‌دهنده جنس آن کمیت است که با یکی از حروف بزرگ انگلیسی یا ترکیبی از حروف بزرگ انگلیسی معرفی می‌شود؛ به‌عنوان مثال بعد طول را با حرف «L» نشان می‌دهند.

۱ بعد قد هنرجو در مثال بالا چیست؟

۲ ارتفاع ساختمانی ۲۰ متر است. کمیت، یکا و بعد را مشخص کنید.

تمرین ۱



## ۱-۲- انواع کمیت‌ها

با توجه به اینکه خواص فیزیکی به‌وسیله قوانین مکانیکی و فیزیکی به یکدیگر مربوط می‌شوند، لذا بعضی از کمیت‌ها را اصلی و بعضی دیگر را فرعی می‌نامند.

### کمیت اصلی

کمیت اصلی کمیتی است که با ابزار مخصوص قابل اندازه‌گیری است، و وجودشان وابسته به کمیت دیگری نیست و مستقل‌اند. مهم‌ترین کمیت‌های اصلی عبارت‌اند از: طول، جرم، زمان، دما و مقدار ماده (مول).

### کمیت فرعی

کمیت فرعی کمیتی است که وجودش وابسته به کمیت‌های اصلی است و از ترکیب چند کمیت اصلی ایجاد می‌شود. تعداد کمیت‌های فرعی محدود نیست و از آنها می‌توان به نیرو، حجم و سرعت اشاره کرد.

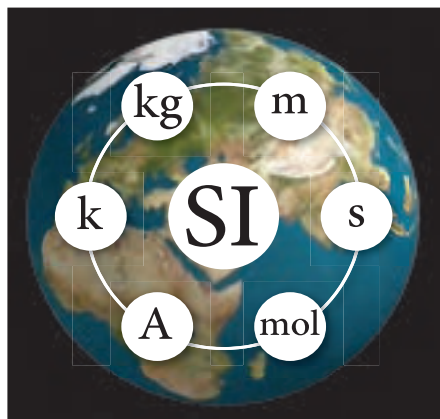
چهار کمیت فرعی را نام ببرید.

تمرین ۲



## ۱-۳- دستگاه یکاها

برای بیان یکاهای کمیت‌های اصلی و فرعی در محاسبات صنایع شیمیایی، از سه دسته‌بندی زیر استفاده می‌شود که اصطلاحاً هر کدام از این دسته‌بندی‌ها را یک دستگاه می‌نامند.



### دستگاه یکاهای بین‌المللی (متریک)

در این دسته‌بندی کمیت‌های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مقدار ماده را به ترتیب بر حسب واحدهای متر، کیلوگرم، ثانیه، سلسیوس و کیلومول<sup>۲</sup> بیان می‌کنند.

### دستگاه یکاهای بین‌المللی (CGS)

در این دسته‌بندی یا دستگاه، کمیت‌های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مقدار ماده را به ترتیب بر حسب واحدهای سانتی‌متر، گرم، ثانیه، سلسیوس و گرم‌مول بیان می‌کنند.

### دستگاه یکاهای انگلیسی

در این دسته‌بندی یا دستگاه، کمیت‌های اصلی طول، جرم، زمان، دما و مول را به ترتیب بر حسب واحدهای فوت، پوند، ثانیه، فارنهایت و پوندمول بیان می‌کنند. در جدول ۱-۱، واحدها و نماد کمیت‌های اصلی در سه دستگاه مذکور آورده شده است.

جدول ۱-۱- دستگاه یکاهای کمیت‌های اصلی

دستگاه یکاها	طول	جرم	زمان	مقدار ماده (مول)	دما
متریک (SI)	متر (m)	کیلوگرم (kg)	ثانیه (s)	کیلومول (kmol)	سلسیوس (°C)
(CGS)	سانتی‌متر (cm)	گرم (g)	ثانیه (s)	گرم‌مول (gmol)	سلسیوس (°C)
انگلیسی (FPS)	فوت (ft)	پوند (lb)	ثانیه (s)	پوندمول (lbmol)	فارنهایت (°F)

بعد کمیت‌های اصلی در تمام دستگاه‌های یک‌کسا است و همان‌طور که بیان شد با حروف بزرگ انگلیسی نمایش داده می‌شوند. در جدول ۱-۲، بعد کمیت‌های اصلی نشان داده شده است.

جدول ۱-۲- ابعاد کمیت‌های اصلی

کمیت	طول	جرم	زمان	دما	مول
بعد	L	M	T	$\theta$	N

## ۴-۱- محاسبات ریاضی کمیت‌ها

### جمع و تفریق کمیت‌ها

در جمع و تفریق کمیت‌های فیزیکی فقط کمیت‌هایی با یکدیگر قابل جمع یا تفریق هستند که جنس یا بعد آنها یکسان باشد.

**مثال ۱:** هنرجویی سه کیلوگرم سیب و دو متر سیم برق خریداری کرده‌است. این هنرجو چند کیلوگرم خرید داشته‌است؟

**پاسخ:** در این مثال از دو کمیت جرم و طول استفاده شده‌است و با توجه به اینکه جنس (بعد) این دو کمیت متفاوت است، لذا با هم قابل جمع نیست و نمی‌توان گفت به‌طور کلی این فرد چند کیلوگرم خرید کرده است و یا چند متر خرید داشته‌است.

**مثال ۲:** کدام یک از عملیات زیر انجام شدنی و کدام یک انجام نشدنی است؟

$$2 \text{ kg} + 3 \text{ S}$$

(الف) دو کیلوگرم + سه ثانیه

$$3 \text{ g} + 5 \text{ g}$$

(ب) سه گرم + پنج گرم

$$2 \text{ ft} + 3 \text{ lb}$$

(ج) دو فوت + سه پوند

$$3 \text{ lbmol} + 4 \text{ lbmol}$$

(د) چهار پوندمول + سه پوندمول

**پاسخ:**

(الف) با توجه به تفاوت بعدها و جنس این دو کمیت (جرم و زمان)، قابل جمع نیستند.

(ب) با توجه به تشابه بعد و جنس این دو کمیت (جرم)، قابل جمع هستند و حاصل آن هشت گرم می‌شود.

(ج) با توجه به تفاوت بعدها و جنس این دو کمیت (طول و جرم)، قابل جمع نیستند.

(د) با توجه به تشابه بعد و جنس این دو کمیت (مول)، قابل جمع هستند و حاصل آن هفت پوندمول است.

### ضرب و تقسیم کمیت‌ها

ضرب و تقسیم چند کمیت با جنس و بعد متفاوت، انجام شدنی است.

**مثال ۳:** کدام یک از عملیات زیر انجام شدنی است؟ حاصل عملیات چیست؟

(الف) سه فوت  $\times$  دو کیلوگرم

(ب) پنج ثانیه  $\times$  سه متر

(ج) صد کیلومتر تقسیم بر دو ساعت

**پاسخ:** چون عملیات انجام شده در مثال ۳ ضرب و تقسیم بین کمیت‌ها است، پس تمامی عملیات انجام شدنی است و حاصل آنها عبارت‌اند از:

$$2 \text{ kg} \times 3 \text{ ft} = 6 \text{ kg.ft} \quad (\text{الف})$$

$$5 \text{ s} \times 3 \text{ m} = 15 \text{ s.m} \quad (\text{ب})$$

$$\frac{100 \text{ km}}{2 \text{ h}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad (\text{ج})$$

نکته ۱



در مثال ۳ هر کدام از کمیت‌ها، یک کمیت اصلی است، ولی حاصل ضرب و تقسیم آنها، یک کمیت فرعی است.

**مثال ۴:** مکعب مستطیلی دارای ۳ سانتی‌متر طول، ۲ سانتی‌متر عرض و ۵ سانتی‌متر ارتفاع است. مطلوب است:

(الف) مقدار حجم مکعب مستطیل

(ب) مقدار سطح یک وجه

(ج) تعیین بعد حجم و سطح مکعب مستطیل

(د) تعیین حاصل تقسیم حجم بر سطح یک وجه مکعب مستطیل

**پاسخ:**

(الف) حجم مکعب مستطیل از حاصل ضرب طول در عرض و ارتفاع به دست می‌آید.

ارتفاع  $\times$  عرض  $\times$  طول = حجم مکعب مستطیل

$$(5 \text{ cm}) \times (2 \text{ cm}) \times (3 \text{ cm}) = (3 \times 2 \times 5) (\text{cm} \times \text{cm} \times \text{cm}) = 30 \text{ cm}^3$$

(ب) سطح هر وجه مکعب مستطیل از حاصل ضرب طول در عرض به دست می‌آید.

$$\text{سطح مکعب مستطیل} = \text{طول} \times \text{عرض} = (2 \text{ cm}) \times (3 \text{ cm}) = 6 \text{ cm}^2$$

(ج) با توجه به اینکه هر سه کمیت طول، عرض و ارتفاع دارای بعد طول هستند لذا:

$$\text{بعد طول} = L$$

$$\text{بعد عرض} = L \quad \text{حجم مکعب مستطیل} = \text{طول} \times \text{عرض} \times \text{ارتفاع} = L \times L \times L = L^3$$

$$\text{بعد ارتفاع} = L$$

$$\text{سطح مکعب مستطیل} = \text{عرض} \times \text{طول} \Rightarrow L \times L = L^2$$

$$\frac{\text{حجم مکعب مستطیل}}{\text{سطح مکعب مستطیل}} = \frac{30 \text{ cm}^3}{6 \text{ cm}^2} = 5 \text{ cm} \quad (\text{د})$$



- ۱: در مثال ۴ کمیت‌های طول، عرض، ارتفاع کمیت‌های اصلی و کمیت‌های حجم و سطح کمیت‌های فرعی هستند.
- ۲: در ضرب واحدهای یکسان، به تعداد دفعات ضرب، واحد حاصل عملیات، توان می‌گیرد.
- ۳: در تقسیم واحدهای یکسان، واحدهای یکسان با توجه به توانشان از صورت و مخرج حذف می‌شوند.

**مثال ۵)** بعد کمیت فرعی سرعت، را تعیین کنید.

**پاسخ:** برای تعیین کمیت‌های فرعی، ابتدا باید فرمول آن کمیت را نوشت، سپس بعد کمیت‌های استفاده‌شده را مشخص و در پایان بعد کمیت فرعی را تعیین کرد. سرعت یک متحرک از تقسیم مسافت طی‌شده بر زمان به دست می‌آید.

\* بنابراین بعد سرعت عبارت است از:

$$\text{سرعت} = \frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}}$$

$$\text{سرعت} = \frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

$\Rightarrow T = \text{بعد زمان و } L = \text{بعد مسافت}$

$$\text{سرعت} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$



- ۱: بعد کمیت‌های شتاب و نیرو را تعیین کنید.
- ۲: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در دستگاه SI (متریک) تعیین کنید.
- ۳: یکای کمیت‌های فرعی سرعت، شتاب و نیرو را در دستگاه یکای انگلیسی به دست آورید.
- ۴: یکای کمیت‌های انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را در دو دستگاه یکای SI (متریک) و انگلیسی به دست آورید. فرمول‌های مربوط عبارت‌اند از:

$$\text{انرژی جنبشی} = \frac{1}{2} (\text{جرم}) (\text{سرعت})^2$$

$$\text{(ارتفاع) (شتاب) (جرم)} = \text{انرژی پتانسیل}$$

۵: بعد انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را تعیین کنید.

## ۵-۱- تبدیل یکاها

چگونه می‌توان حاصل عملیات زیر را به دست آورد؟

الف) سه متر + بیست سانتی‌متر      ب) دو کیلوگرم + صد گرم

برای تعیین حاصل جمع مثال الف و ب چه راه‌هایی به ذهن‌تان می‌رسد؟



برای تبدیل یک‌کاهای یک کمیت اصلی یا فرعی می‌بایست از ضرایب تبدیل<sup>۱</sup> آن کمیت‌ها استفاده کرد. در جدول ۱-۳، نمونه‌ای از ضرایب تبدیل برای کمیت‌های اصلی ارائه شده‌است.

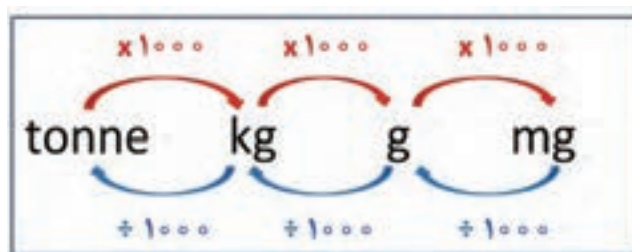
جدول ۱-۳- ضرایب تبدیل

ضرایب تبدیل	کمیت
$1\text{ m} = 100\text{ cm}$ $1\text{ ft} = 0.3048\text{ m}$ $1\text{ ft} = 30.48\text{ cm}$ $1\text{ ft} = 12\text{ in}$ $1\text{ in} = 2.54\text{ cm}$	طول
$1\text{ kg} = 1000\text{ g}$ $1\text{ lb} = 454\text{ g}$ $1\text{ lb} = 0.454\text{ kg}$	جرم
$1\text{ h} = 60\text{ min}$ $1\text{ h} = 3600\text{ s}$ $1\text{ min} = 60\text{ s}$	زمان

برای تبدیل یک‌کای یک کمیت از روش نردبانی استفاده می‌شود. در این روش باید از ضرایب تبدیل به گونه‌ای استفاده کرد که یک‌کای قدیمی و یک‌کای جدید در صورت و مخرج نردبان قرار گیرند و یک‌کای قدیمی حذف و یک‌کای جدید ایجاد شود.



1 kilogram	= 1,000 grams
1 ton	= 1,000 kilograms
1 lb	= 454 grams
1 lb	= 0,454 kilograms



**مثال ۶)** جرم جسمی ۲۵ کیلوگرم است، جرم این جسم را بر حسب یکه‌های گرم و پوند به دست آورید.

**پاسخ:** در ابتدا بایست ضرایب تبدیل مناسب را پیدا کرد.

با توجه به ضرایب تبدیل برای جرم:

$$1 \text{ lb} = 0.454 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$\text{جرم جسم} = 25 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 25000 \text{ g}$$

$$\text{جرم جسم} = 25 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ lb}}{0.454 \text{ kg}} = 55.06 \text{ lb}$$

**مثال ۷)** فاصله شهر تهران تا قم، ۱۳۰ کیلومتر است، این فاصله را بر حسب یکه‌های متر و فوت به دست

آورید.



**پاسخ:** با توجه به ضرایب تبدیل طول:

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m} \quad (\text{یک کیلومتر} = 1000 \text{ متر})$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} \quad (\text{یک فوت} = 0.3048 \text{ متر})$$

$$\text{الف) فاصله تهران تا قم: } 130 \text{ km} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 130000 \text{ m}$$

$$\text{ب) فاصله تهران تا قم} = 130 \text{ km} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} = 426509.186 \text{ ft}$$

**مثال ۸)** خودرویی با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در حال حرکت است. سرعت این خودرو را بر حسب

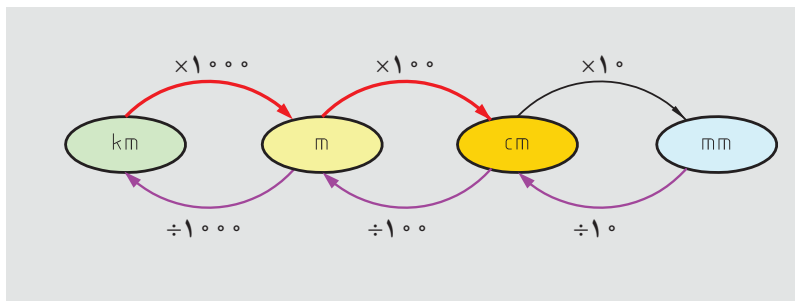
متر بر دقیقه به دست آورید.

پ) ضرایب تبدیل لازم:

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min}$$

$$\text{سرعت خودرو} = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 1666.6 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$



تمرین ۴



۱: سرعت خودرو را در مثال ۸ بر حسب فوت بر ساعت و اینچ بر دقیقه حساب کنید.  
 ۲: هواپیمایی با سرعت  $500 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$  در حال حرکت است، سرعت این هواپیما را بر حسب  $\frac{\text{ft}}{\text{h}}$  و  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  به دست آورید.

**مثال ۹** حجم یک مخزن ۵ لیتر است، حجم این مخزن را بر حسب سانتی متر مکعب به دست آورید.  
**پاسخ:** ضریب تبدیل مناسب:

$$1 \text{ لیتر} = 1000 \text{ mL} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$\text{حجم مخزن} = 5\text{L} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1\text{L}} = 5000 \text{ cm}^3$$

**مثال ۱۰** حجم یک بشر  $1000 \text{ cm}^3$  است، حجم آن را بر حسب متر مکعب به دست آورید.

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

**پاسخ:** ضریب تبدیل مناسب:

$$\text{حجم بشر} = 1000 \text{ cm}^3 \times \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^3 = 1000 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ cm}^3} = 0.001 \text{ m}^3$$

نکته ۳



در هنگام استفاده از ضرایب تبدیل، می توان یکاها را به توان رساند.

تمرین ۵



به وسیله یک لوله روزانه  $4 \text{ m}^3$  آب به داخل یک مخزن ریخته می شود، محاسبه کنید در هر دقیقه چند سانتی متر مکعب آب داخل مخزن ریخته می شود؟

انجام دادن محاسبات در صنایع شیمیایی اهمیت خاصی دارد. در این قسمت شیوه تبدیل یکاها در کمیت های متداول صنایع شیمیایی ارائه می شود.



### مقدار ماده (مول)

یکاهای اصلی مول عبارت‌اند از: گرم مول (gmol)، پوند مول (lbmol) و کیلومول (kmol) و کیلوگرم مول (kgmol) ضرایب تبدیل مولی عبارت‌اند از:

$$1 \text{ kmol} = 1000 \text{ mol}$$

$$1 \text{ kgmol} = 1000 \text{ gmol}$$

$$1 \text{ lbmol} = 454 \text{ gmol}$$

$$1 \text{ lbmol} = 0.454 \text{ kgmol}$$

چنانچه کلمه مول به تنهایی به کار رود، منظور گرم مول است.

نکته ۴



با توجه به تعریف جرم مولکولی می‌توان یکاهای زیر را در دستگاه‌های مختلف برای آن بیان کرد:

$\frac{\text{g}}{\text{gmol}}$	دستگاه CGS :	$\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$	دستگاه SI :
...		$\frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$	دستگاه انگلیسی:

با توجه به یکاهای جرم اتمی، جرم اتمی سدیم را ۲۳ و آب را ۱۸ در نظر می‌گیرند؛ یعنی یک گرم مول سدیم، ۲۳ گرم و یک گرم مول آب، ۱۸ گرم جرم دارد.

نکته ۵



**مثال (۱۱)** جرم اتمی مس  $\frac{64 \text{ g}}{\text{gmol}}$  است، جرم اتمی آن را بر حسب  $\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$  و  $\frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$  به دست آورید.  
**جواب)** با استفاده از ضرایب تبدیل و روش نردبانی:

$$\text{جرم اتمی مس} = 64 \frac{\text{g}}{\text{gmol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ gmol}}{1 \text{ kmol}} = 64 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\text{جرم اتمی مس} = 64 \frac{\text{g}}{\text{gmol}} \times \frac{1 \text{ lb}}{454 \text{ g}} \times \frac{454 \text{ gmol}}{1 \text{ lbmol}} = 64 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$$



مقدار عددی جرم اتمی یا جرم مولکولی مواد در دستگاه یکاهای مختلف، یکسان است.

**کسر جرمی (جزء جرمی):** اگر ماده A یک جزء از یک مخلوط (یا محلول) باشد، کسر جرمی A عبارت است از جرم ماده A تقسیم بر جرم کل مخلوط (یا محلول). معمولاً کسر جرمی را با x نشان می‌دهند.

$$x_A = \frac{\text{جرم ماده A}}{\text{جرم کل مخلوط}} = \frac{m_A}{m_t} \quad (1-1)$$

در معادله (1-1)، zبروند t اشاره به total یعنی کل است.

**کسر مولی (جزء مولی):** اگر مخلوطی از مواد وجود داشته باشد که A یکی از اجزای این مخلوط باشد، کسر مولی ماده A برابر است با حاصل تقسیم مول A بر مول کل مخلوط. معمولاً کسر مولی را با y نشان می‌دهند.

$$y_A = \frac{\text{مول ماده A}}{\text{مول کل مخلوط}} = \frac{N_A}{N_t} \quad (1-2)$$

**کسر حجمی (جزء حجمی):** در مخلوطی از مواد اگر A یکی از اجزای تشکیل‌دهنده آن مخلوط باشد، کسر حجمی ماده A برابر است با حاصل تقسیم حجم A بر حجم کل مخلوط. معمولاً کسر حجمی را با V نشان می‌دهند.

$$V_A = \frac{\text{حجم ماده A}}{\text{حجم کل مخلوط}} = \frac{V_A}{V_t} \quad (1-3)$$

مجموع کسرهای جرمی (مولی) یا (حجمی) اجزای تشکیل‌دهنده یک مخلوط همواره برابر با یک است.



$$\sum x_i = 1 \quad \text{و} \quad x_A + x_B + x_C + \dots = 1 \quad (1-4)$$

$$\sum y_i = 1 \quad \text{و} \quad y_A + y_B + y_C + \dots = 1 \quad (1-5)$$

$$\sum v_i = 1 \quad \text{و} \quad v_A + v_B + v_C + \dots = 1 \quad (1-6)$$

در این معادله‌ها A, B, C و ... اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط (یا محلول) هستند.

درصدهای جرمی (مولی یا حجمی) اجزای تشکیل دهنده یک مخلوط از حاصل ضرب کسرهای جرمی (مولی یا حجمی) در عدد ۱۰۰ به دست می‌آید.



جرم (مول، حجم) یک جزء در مخلوط، از حاصل ضرب کسر جرمی (مولی، حجمی) همان جزء در جرم کل (مول کل، حجم کل) مخلوط به دست می‌آید.

مجموع درصدهای جرمی (مولی، حجمی) اجزای موجود در یک مخلوط همواره برابر با ۱۰۰ است.



## ۶-۱- تجزیه و تحلیل مخلوط‌ها

اگر مخلوطی (یا محلولی) از مواد در فاز مایع، جامد یا گاز وجود داشته باشد، تعیین درصدهای جرمی (مولی یا حجمی) اجزای تشکیل دهندهٔ مخلوط را تجزیه و تحلیل (آنالیز) آن مخلوط می‌نامند.

**مثال ۱۲)** یک محلول شیمیایی تمیزکننده شامل ۵ کیلوگرم آب و ۵ کیلوگرم سدیم هیدروکسید است. درصدهای جرمی و مولی این محلول را تعیین کنید.

**پاسخ:** برای تعیین درصدهای جرمی و مولی این محلول کافی است، کسرهای جرمی و مولی اجزای محلول را به دست آورید و سپس هر کدام را در عدد ۱۰۰ ضرب کنید.

$$M_{w_{H_2O}} = 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$M_{w_{NaOH}} = 40 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\begin{cases} m_{H_2O} = 5 \text{ kg} \\ m_{NaOH} = 5 \text{ kg} \end{cases} \rightarrow m_{\text{کل}} = 5 + 5 = 10 \text{ kg}$$

اطلاعات لازم:

**الف) تجزیه و تحلیل جرمی:**

$$\text{کسر جرمی آب} = \frac{\text{جرم آب}}{\text{جرم کل}} = \frac{5 \text{ kg}}{10 \text{ kg}} = 0.5$$

$$\text{درصد جرمی آب} = \text{کسر جرمی آب} \times 100 = 0.5 \times 100 = 50$$

$$\text{کسر جرمی سدیم هیدروکسید} = \frac{\text{جرم سدیم هیدروکسید}}{\text{جرم کل}} = \frac{5 \text{ kg}}{10 \text{ kg}} = 0.5$$

$$\text{درصد جرم سدیم هیدروکسید} = \text{کسر جرمی سدیم هیدروکسید} \times 100 = 0.5 \times 100 = 50$$

$$100\% = 50\% + 50\% = 100\%$$

**ب)** برای تعیین کسر مولی اجزاء، در ابتدا باید تعداد مول هر کدام را به دست آورد. با توجه به تعریف تعداد گرم مول:

$$n = \frac{m}{M_w}$$

$$\text{تعداد مول آب} = n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_w_{H_2O}} = \frac{5}{18} = 0.27 \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول سدیم هیدروکسید} = n_{NaOH} = \frac{m_{NaOH}}{M_w_{NaOH}} = \frac{5}{40} = 0.125 \text{ kmol}$$

$$\text{تعداد مول کل} = n_t = n_{H_2O} + n_{NaOH} = 0.27 + 0.125 = 0.395 \text{ mol}$$

$$\text{کسر مولی آب} = y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_t} = \frac{0.27}{0.395} = 0.68$$

$$\text{کسر مولی سدیم هیدروکسید} = y_{NaOH} = \frac{n_{NaOH}}{n_t} = \frac{0.125}{0.395} = 0.32$$

مجموع کسرهای (درصدهای) جرمی و یا مولی اجزای تمیزکننده شیمیایی برابر با یک (صد) است.

$$68 = 0.68 \times 100 = 68 \text{ درصد مولی آب}$$

$$32 = 0.32 \times 100 = 32 \text{ درصد مولی سدیم هیدروکسید}$$

نتایج محاسبات در جدول زیر خلاصه شده است.

مواد	جرم (کیلوگرم)	مول (کیلومول)	کسر جرمی	درصد جرمی	کسر مولی	درصد مولی
آب	5	0.27	0.5	50	0.68	68
سدیم هیدروکسید	5	0.125	0.5	50	0.32	32
جمع	10	0.395	1.0	100	1.0	100

**مثال ۱۳)** هوا مخلوطی از گازهای نیتروژن و اکسیژن است، اگر مقدار نیتروژن و اکسیژن موجود در هوا

به ترتیب ۱۵۸ گرم مول و ۴۲ گرم مول باشد، تجزیه و تحلیل مولی و جرمی هوا را انجام دهید.

**پاسخ:** برای تعیین درصد مولی و درصد جرمی اجزای هوا، ابتدا باید جرم و مول اجزای آن را تعیین کرد.

اطلاعات مسئله:

$$M_{wO_2} = 32 \frac{g}{gmole}$$

$$M_{wN_r} = 28 \frac{\text{g}}{\text{gmole}}$$

$$n_{O_r} = 42 \text{ gmol} \quad \longrightarrow \quad n_{\text{مخلوط}} = n_t = 42 + 158 = 200 \text{ gmol}$$

$$n_{N_r} = 158 \text{ gmol}$$

الف) تجزیه و تحلیل مولی اجزای هوا:

$$\text{کسر مولی اکسیژن} = y_{O_r} = \frac{\text{مول اکسیژن}}{\text{مول کل}} = \frac{42}{200} = 0/21$$

$$\text{کسر مولی نیتروژن} = y_{N_r} = \frac{\text{مول نیتروژن}}{\text{مول کل}} = \frac{158}{200} = 0/79$$

$$\text{کسر مولی اکسیژن} = 0/21 \times 100 = 21\%$$

$$\text{کسر مولی نیتروژن} = 0/79 \times 100 = 79\%$$

ب) تجزیه و تحلیل جرمی اجزای هوا: برای تجزیه و تحلیل جرمی اجزا، در ابتدا باید جرم هر جز را به دست آورد؛ بدین منظور با توجه به تعریف جرم مولکولی، برای تعیین جرم کافی است تعداد گرم مول را در جرم مولکولی ضرب کرد.

$$n = \frac{m}{Mw} \rightarrow m = n \times Mw$$

$$M_{wO_r} = 32 \frac{\text{g}}{\text{gmole}}$$

$$M_{wN_r} = 28 \frac{\text{g}}{\text{gmole}}$$

$$\text{جرم اکسیژن} = m_{O_r} = M_{wO_r} \times n_{O_r} = 32 \times 42 = 1344 \text{ g}$$

$$\text{جرم نیتروژن} = m_{N_r} = M_{wN_r} \times n_{N_r} = 28 \times 158 = 4424 \text{ g}$$

$$\text{جرم کل} = m_t = m_{O_r} + m_{N_r} = 1344 + 4424 = 5768 \text{ g}$$

$$\text{کسر جرمی نیتروژن} = x_{N_r} = \frac{\text{جرم نیتروژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{N_r}}{m_t} = \frac{4424}{5768} = 0/767$$

$$\text{کسر جرمی اکسیژن} = x_{O_r} = \frac{\text{جرم اکسیژن}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_{O_r}}{m_t} = \frac{1344}{5768} = 0/233$$

$$\text{درصد جرمی اکسیژن} = 0/233 \times 100 = 23/3\%$$

$$\text{درصد جرمی نیتروژن} = 0/767 \times 100 = 76/7\%$$

نتایج محاسبات در جدول زیر خلاصه شده است.

مواد	کسر جرمی	کسر مولی	درصد جرمی	درصد مولی
اکسیژن	۰/۲۳۳	۰/۲۱	۲۳/۳	۲۱
نیتروژن	۰/۷۶۷	۰/۷۹	۷۶/۷	۷۹
جمع	۱/۰	۱/۰	۱۰۰	۱۰۰

### جرم مولکولی متوسط یک مخلوط

بر اساس تعریف جرم مولکولی، جرم مولکولی یک مخلوط از تقسیم جرم کل بر تعداد مول کل مخلوط به دست می آید.

$$M_{W_{\text{مخلوط}}} = M_{W_{\text{کل}}} = \frac{\text{جرم کل مخلوط}}{\text{تعداد مول کل مخلوط}}$$

علاوه بر معادله اصلی جرم مولکولی، می توان برای تعیین جرم مولکولی یک مخلوط با توجه به معلوم بودن کسرهای جرمی یا مولی اجزای تشکیل دهنده مخلوط از معادله های ۷-۱ و ۸-۱ استفاده کرد.

(۱-۷)

$$M_{W_{\text{مخلوط}}} = \sum_{i=1}^n (M_{W_i} y_i) = M_{W_1} y_1 + M_{W_2} y_2 + \dots + M_{W_n} y_n$$

(۱-۸)

$$\frac{1}{M_{W_{\text{مخلوط}}}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i}{M_{W_i}} \right) = \frac{x_1}{M_{W_1}} + \frac{x_2}{M_{W_2}} + \frac{x_3}{M_{W_3}} + \dots + \frac{x_n}{M_{W_n}}$$

$i$  = تعداد اجزای تشکیل دهنده مخلوط

$M_{W_i}$  = جرم مولکولی هر ماده در مخلوط

$y_i$  = کسر مولی هر ماده در مخلوط

$x_i$  = کسر جرمی هر ماده در مخلوط

**مثال ۱۴)** جرم مولکولی متوسط مخلوط زیر را تعیین کنید.

درصد مولی	مواد
۳۰	پروپان ( $C_3H_8$ )
۵۰	اتان ( $C_2H_6$ )
۲۰	متان ( $CH_4$ )

**پاسخ:** با توجه به معلوم بودن درصد مولی اجزاء، از معادله ۷-۱ می‌توان استفاده کرد، ولی در ابتدا باید جرم مولکولی و کسر مولی هر جزء در این مخلوط تعیین شود.

**یادآوری:** کسر مولی از تقسیم درصد مولی بر عدد ۱۰۰ به دست می‌آید.

مواد	درصد مولی	کسر مولی (Y)	جرم مولکولی (Mw)
$CH_4$	۲۰	$\frac{20}{100} = 0.2$	۱۶
$C_2H_6$	۵۰	$\frac{50}{100} = 0.5$	۳۰
$C_3H_8$	۳۰	$\frac{30}{100} = 0.3$	۴۴
جمع	۱۰۰	۱/۰	

$$\begin{aligned}
 Mw_{\text{مخلوط}} &= Mw_{CH_4} \cdot y_{CH_4} + Mw_{C_2H_6} \cdot y_{C_2H_6} + Mw_{C_3H_8} \cdot y_{C_3H_8} \\
 &= 16 \times 0.2 + 30 \times 0.5 + 44 \times 0.3 \\
 &= 3/2 + 15 + 13/2 = 31/2
 \end{aligned}$$

تمرین ۶



۱: محلولی حاوی ۲۰ درصد مولی آب و ۸۰ درصد مولی سدیم‌هیدروکسید (NaOH) است، جرم مولکولی این محلول را محاسبه کنید.

۲: هوا شامل ۲۱ درصد مولی اکسیژن ( $O_2$ ) و ۷۹ درصد مولی نیتروژن ( $N_2$ ) است. جرم مولکولی متوسط هوا را به دست آورید.

**مثال ۱۵)** در یک فرایند شیمیایی از اتانول با خلوص ۸۰ درصد جرمی استفاده می‌شود. جرم مولکولی این محلول را به دست آورید.

**پاسخ)** با توجه به درصد خلوص اتانول، این محلول حاوی ۸۰ درصد جرمی اتانول و ۲۰ درصد جرمی آب است؛ لذا برای تعیین جرم مولکولی از معادله ۸-۱ می‌توان استفاده کرد ولی در ابتدا کسر جرمی و مولکولی هر جزء باید محاسبه شود.

نام ماده	Mw	درصد جرمی	(=) کسر جرمی
اتانول (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	۴۶	۸۰	$\frac{۸۰}{۱۰۰} = ۰/۸$
H <sub>2</sub> O	۱۸	۲۰	$\frac{۲۰}{۱۰۰} = ۰/۲$
جمع		۱۰۰	۱/۰

$$\frac{1}{Mw} = \sum \frac{x_i}{Mw_i} = \frac{x_{\text{آب}}}{Mw_{\text{آب}}} + \frac{x_{\text{اتانول}}}{Mw_{\text{اتانول}}}$$

$$\frac{1}{Mw_{\text{مخلوط}}} = \frac{۰/۲}{۱۸} + \frac{۰/۸}{۴۶} = ۰/۰۱۱ + ۰/۰۱۷ = ۰/۰۲۸$$

$$\frac{1}{Mw_{\text{مخلوط}}} = ۰/۰۲۸ \rightarrow Mw_{\text{مخلوط}} = \frac{1}{۰/۰۲۸} = ۳۵/۷۱$$

درصدهای مولی اجزای گاز خروجی یک دودکش در یک کارخانه صنایع شیمیایی در جدول زیر آورده شده است، جرم مولکولی این گاز را محاسبه کنید.

تمرین ۷



گازهای دودکش	درصد مولی
کربن منوکسید (CO)	۵
کربن دی‌اکسید (CO <sub>2</sub> )	۱۵
گوگرد دی‌اکسید (SO <sub>2</sub> )	۵
بخار آب (H <sub>2</sub> O)	۴۰
اکسیژن (O <sub>2</sub> )	۶
نیتروژن منوکسید (NO)	۵
نیتروژن (N <sub>2</sub> )	۲۴
	۱۰۰



در صنایع شیمیایی، نفت، گاز و پتروشیمی گاهی اوقات درصد جرمی (مولی یا حجمی) یک جزء بسیار پایین است؛ لذا در این صنعت از تعریف «یک جزء در میلیون» با نماد (ppm) استفاده می‌شود؛ به‌عنوان مثال میزان مجاز ترکیبات گوگردی در گازوئیل طبق استاندارد یورو ۵ می‌بایست ۱۰ ppm باشد، یعنی در هر یک میلیون کیلوگرم گازوئیل باید حداکثر ۱۰ کیلوگرم گوگرد وجود داشته باشد. در این مثال کسر جرمی گوگرد و گازوئیل و درصد آن عبارت است از:

$$\text{کسر جرمی گوگرد در گازوئیل} = x_{\text{گوگرد}} = \frac{\text{جرم گوگرد}}{\text{جرم گازوئیل}} = \frac{10}{10^6} = 0/000001$$

$$\text{درصد جرمی گوگرد} = \text{کسر جرمی گوگرد} \times 100 = 0/000001 \times 100 = 0/0001$$

بنابراین حد میزان گوگرد در گازوئیل باید حداکثر ۰/۰۰۰۱ درصد جرمی باشد، ولی به دلیل کم بودن این درصد و برای راحتی، به جای این درصد از کمیت ۱۰ ppm استفاده می‌شود.

با توجه به برچسب مواد غذایی، دارویی و شوینده در کالاهایی که خرید می‌کنید، در سه نمونه کالا که مقدار ماده‌ای را در حد ppm است، بیان کنید.

تمرین ۸



**مثال ۱۶)** میزان مجاز ترکیبات گوگردی در نفت خام ۵۰۰ ppm است. در یک محموله نفتی با جرم ۴۲۰۰۰۰ کیلوگرم، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد وجود دارد. آیا مقدار گوگرد این محموله نفتی در حد مجاز است؟

**پاسخ)** با توجه به تعریف ppm، باید تعیین کرد که در ۱,۰۰۰,۰۰۰ کیلوگرم نفت خام، چند کیلوگرم گوگرد وجود دارد، لذا با یک تناسب ساده می‌توان آن را محاسبه کرد.

نفت خام (kg)	گوگرد (kg)
۴۲۰۰۰۰	۱۰۰
۱۰۰۰۰۰۰	x

$$\frac{420000}{1000000} = \frac{100}{x} \rightarrow x = \frac{100 \times 1000000}{420000} = 238 \text{ ppm}$$

بنابراین با توجه به حد استاندارد گوگرد در نفت خام (۵۰۰ ppm)، میزان گوگرد این محموله نفتی در حد مجاز است.



میزان مجاز گوگرد در گازوئیل ۱۰ ppm جرمی است، در یک تانکر حاوی ۲۵۸۰۰۰ کیلوگرم گازوئیل، چند کیلوگرم گوگرد وجود دارد؟

تمرین ۹





میزان مجاز یک ماده سمی در پساب یک کارخانه شیمیایی ppm ۱/۰ است. اگر ۵۰۰ هزار کیلوگرم از این پساب وارد رودخانه شده باشد،  
 الف) چند کیلوگرم از این ماده سمی وارد رودخانه شده است؟  
 ب) چند پوند از این ماده سمی وارد رودخانه شده است؟

### غلظت

غلظت یک ماده به مقدار جرم (مول) آن ماده در حجم معینی از محلول گفته می‌شود. در محاسبات صنایع شیمیایی یکاهای غلظت عبارت‌اند از:

یکاهای غلظت جرمی	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$
یکاهای غلظت مولی	$\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{gmol}}{\text{cm}^3}$	$\frac{\text{lbmol}}{\text{ft}^3}$

استفاده از غلظت در مباحث آلودگی هوا بسیار رایج است؛ مثلاً میزان غلظت مجاز گاز  $\text{SO}_2$  در هوا  $\frac{6 \text{ mg}}{\text{m}^3}$  است، یعنی در هر یک متر مکعب از هوا حداکثر می‌بایست ۶ میلی‌گرم (۰/۰۰۶ گرم) گاز  $\text{SO}_2$  وجود دارد.

بیشترین مقدار مواد اسیدی‌کننده در آب لیمو، شربت هلو، گلابی و سیب (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۱۳)، ppm ۵۰۰ است، اگر هدف تولید ۱۵۰۰۰ کیلوگرم شربت هلو باشد، مقدار مجاز مواد اسیدی‌کننده آن چند کیلوگرم است؟



بیشترین مقدار مواد اکسیدکننده (آزودی‌کربن‌امید) در تهیه آرد، برای انواع شیرینی و کیک ppm ۴۵ است (مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۹۴). در یک محموله آرد به جرم ۲۷۰۰۰ کیلوگرم، اگر میزان ماده اکسیدکننده ۲ کیلوگرم باشد، آیا این مقدار ماده اکسیدکننده در حد مجاز است؟



**مثال ۱۷)** بیشترین مقدار استفاده از ماده شیرین‌کننده اسپارتام ( $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_5$ ) در تهیه آدامس ppm ۲۵۰۰ است، در یک کارخانه برای تولید ۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس، حداکثر از چند کیلوگرم اسپارتام باید استفاده کرد؟  
**پاسخ)** با توجه به تعریف ppm و استفاده از تناسب زیر:

مقدار مجاز اسپارتام (kg)	آدامس (kg)
۲۵۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
x	۴۰۰۰

$$x = \frac{2500 \times 4000}{1000000} = 10 \text{ kg}$$

بنابراین میزان مجاز اسپارتام در ۴۰۰۰ کیلوگرم آدامس، تا ۱۰ کیلوگرم است.

## دما

دما معیاری است که میزان گرمی و سردی جسم را مشخص می‌کند. برای اندازه‌گیری دما لازم است مقیاس دمایی داشت و برای این کار می‌توان از هر مشخصه قابل اندازه‌گیری بهره جست که با گرمی و سردی جسم تغییر کند.

یکی از مقیاس‌های متداول دما، درجه سلسیوس است که به نام اخترشناس سوئدی آندره سلسیوس نام‌گذاری شد و بخشی از دستگاه بین‌المللی یکاها است. مبنای این مقیاس تخصیص دقیق صفر درجه برای انجماد آب و صد درجه برای دمای جوش آب در فشار یک اتمسفر است.

یکاهای دما در دو دستگاه بین‌المللی و انگلیسی یکاها عبارت‌اند از:

(الف) دستگاه SI، سلسیوس ( $^{\circ}\text{C}$ )؛

(ب) دستگاه انگلیسی، فارنهایت ( $^{\circ}\text{F}$ ).

معادله دو یکای دما با معادله (۹-۱) بیان می‌شود.

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times 1/8 + 32 \quad (1-9)$$

**مثال ۱۸** دمای بدن یک انسان سالم حدود ۳۷ درجه سلسیوس است، این دما را بر حسب درجه فارنهایت به دست آورید.

پاسخ:

$$T(^{\circ}\text{F}) = 37 \times 1/8 + 32 = 98/6^{\circ}\text{F}$$

## فشار

فشار یک کمیت فرعی است و نیرویی است که به طور عمود بر واحد سطح وارد می‌شود و آن را با نماد P نشان می‌دهند. در دستگاه یکاهای (SI)، فشار را با واحد پاسکال معرفی می‌کنند. یک پاسکال فشاری است که نیروی یک نیوتنی به‌طور عمود بر سطح یک متر مربع وارد می‌کند.

$$\text{فشار} = \frac{\text{نیروی عمودی}}{\text{سطح}} \rightarrow P = \frac{F}{A} \quad (1-10)$$

P = فشار ، F = نیرو ، A = سطح

**مثال ۱۹** با توجه به یکاهای کمیت‌های موجود در معادله (۱۰-۱)، یکای فشار و بعد آن را در دستگاه واحدها (SI) محاسبه کنید.

$$\text{نیروی } F = m.a = m \frac{v}{t} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{پاسخ:}$$

$$\text{سطح } A = \text{m}^2$$

$$\text{فشار } P = \frac{F}{A} = \frac{\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$\frac{\text{M}}{\text{L} \cdot \text{T}^2} = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$$

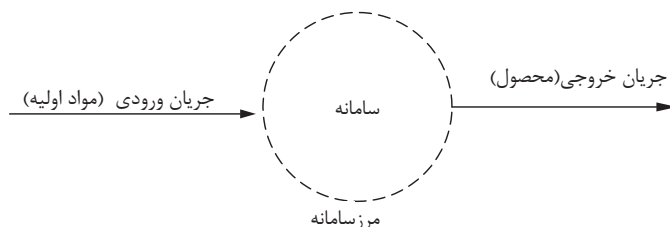
بنابراین بعد فشار عبارت است از:

## ۱-۲- قانون بقای جرم

با توجه به جایگاه ویژه موازنه جرم در صنایع شیمیایی و ارتباط عمیق آن با سایر دروس تخصصی رشته صنایع شیمیایی، یادگیری این قسمت ضروری است. سرآغاز شیمی جدید، آزمایش‌های دانشمند فرانسوی آنتوان لاوازیه است. مطابق با آزمایش‌های او، مجموعه کل جرم موجود در جهان مقداری ثابت است، لذا با استفاده از این قانون همان‌طور که در بخش‌های آتی می‌بینید، می‌توان واکنش‌ها و اتفاقات فیزیکی و شیمیایی را از نظر جرمی بررسی کرد.

### سامانه (سیستم<sup>۱</sup>) و فرایند<sup>۲</sup>

حجمی از فضا را که قانون بقای جرم روی آن مطالعه می‌شود، سامانه و تغییرات و اتفاقاتی را که داخل آن رخ می‌دهد، فرایند می‌نامند. خطوطی که اطراف یک سامانه وجود دارد، مرز سامانه می‌گویند. مطابق با شکل ۱-۱ در یک کارخانه رنگ‌سازی، مواد اولیه وارد کارخانه می‌شوند و طی یک فرایند، رنگ به عنوان محصول کارخانه خارج می‌شود.



شکل ۱-۱: نمونه‌ای از یک سامانه

درون این سامانه، فرایند تولید رنگ اتفاق می‌افتد، البته فرایند اتفاق افتاده در سامانه می‌تواند از نوع واکنش شیمیایی یا غیر از آن باشد.

اگر در یک سامانه واکنش شیمیایی اتفاق بیفتد، موادی به‌عنوان مواد اولیه مصرف می‌شوند و موادی هم به‌عنوان محصول تولید می‌شوند؛ ولی اگر در آن واکنش شیمیایی رخ ندهد، مانند خشک شدن کاغذ در کارخانجات کاغذسازی، ماده‌ای مصرف و ماده‌ای تولید نمی‌شود. در عمل خشک شدن رطوبت کاغذ کم می‌شود، ولی در مقابل در کارخانه‌های تولید نقره کلرید، هم سدیم کلرید (NaCl) و هم نقره‌نیترات (AgNO<sub>۳</sub>) مصرف می‌شوند، و مطابق واکنش شیمیایی زیر نقره کلرید (AgCl) و سدیم‌نیترات (NaNO<sub>۳</sub>) تولید می‌شود.



### انواع سامانه

**الف) سامانه پایدار:** در این سامانه متغیرهای آن با گذشت زمان ثابت می‌مانند و تغییرات آن با گذشت زمان صفر است. ورود یک خودرو را به بزرگراه مورد بررسی قرار دهید، پیش از ورود به بزرگراه، خودرو

۱-System

۲-Process

مدام ترمز می‌کند و متوقف می‌شود و سپس دوباره شروع به حرکت می‌کند. در این حالت سرعت به‌طور پیوسته کم و زیاد می‌شود و مصرف بنزین متناسب با سرعت تغییر می‌کند؛ لذا این عملیات یکنواخت نیست و میزان سرعت و مصرف بنزین با گذشت زمان تغییر می‌کند. ولی وقتی خودرو وارد بزرگراه می‌شود و در خط مشخصی از سرعت قرار می‌گیرد و سرعت خود را روی یک عدد مشخص تنظیم می‌کند تا مدتی در همان حالت باقی می‌ماند بدون اینکه ترمز کند و یا سرعتش را افزایش دهد؛ لذا در این حالت این عملیات یکنواخت است و میزان مصرف بنزین و سرعت ماشین ثابت خواهد بود.

**(ب) سامانه ناپایدار:** در این سامانه متغیرها با گذشت زمان ثابت نمی‌مانند و تغییرات آن با گذشت زمان صفر نیست.

معمولاً تغییرات یک متغیر در یک سامانه را تجمع می‌نامند؛ لذا برای سامانه‌های پایدار تجمع صفر است و برای سامانه‌های ناپایدار تجمع صفر نیست.

**مثال ۲۰)** هنرستانی را با ۲۵۰ هنرجو در نظر بگیرید، در این هنرستان ساعت کلاس‌ها طوری است که طبق جدول زیر هنرجویان وارد و خارج می‌شوند، حال اگر هنرستان را یک سامانه در نظر بگیرید و تعداد هنرجویان را متغیر، در چه روزهایی این سامانه پایدار و چه مواقعی ناپایدار است؟

روز	ساعت ورودی	ساعت ورودی	ساعت خروج	ساعت خروج
	۸	۱۰	۱۴	۱۶
شنبه	۲۵۰	-	۲۵۰	-
یکشنبه	۲۵۰	-	۲۱۰	۴۰
دوشنبه	۲۵۰	-	۲۵۰	-
سه شنبه	۱۰۰	۱۵۰	-	۲۵۰
چهارشنبه	-	۲۵۰	-	۲۵۰

### پاسخ:

در روز شنبه بین ساعت ۸ و ساعت چهارده تعداد هنرجویان (متغیر) با گذشت زمان تغییر نمی‌کند؛ بنابراین سامانه پایدار است.

در روز یکشنبه بین ساعت ۸ تا ساعت شانزده تعداد هنرجویان حاضر در مدرسه با زمان تغییر می‌کند؛ بنابراین سامانه ناپایدار است.

بحث کنید ۱



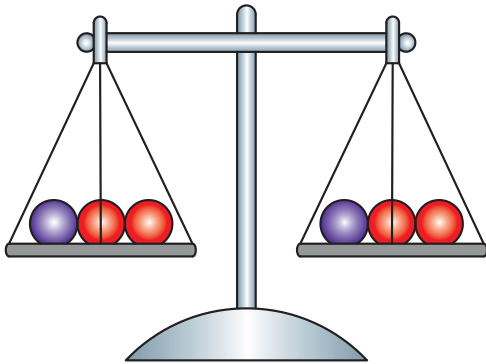
در بقیه روزهای هفته پایدار یا ناپایدار بودن هنرستان را بررسی کنید.

تمرین ۱۳



با دو مثال ساده دیگر، سامانه پایدار و ناپایدار را توضیح دهید.

## ۸-۱- موازنه مواد



مطابق با قانون بقای جرم، مجموع کل جرم موجود در جهان ثابت است، پس در سامانه (شکل ۱-۱) همواره جرم کل ورودی برابر با جرم کل خروجی است.

$$(1-11) \text{ جرم کل خروجی} = \text{جرم کل ورودی}$$

قانون بقای جرم برای یک ماده (مثلاً ماده A) در سامانه مذکور عبارت است از:

$$\text{جرم ماده A تجمع یافته} = \text{جرم ماده A مصرفی} - \text{جرم ماده A تولیدی} + \text{جرم ماده A خروجی} - \text{جرم ماده A ورودی}$$

### موازنه مواد برای سامانه‌های بدون واکنش شیمیایی

اگر در سامانه‌ای، واکنش شیمیایی اتفاق نیفتد، جرم ماده A مصرفی و جرم ماده A تولیدی صفر است، لذا:

$$(1-12) \text{ جرم ماده A تجمع یافته} = \text{جرم ماده A خروجی} - \text{جرم ماده A ورودی}$$

اگر سامانه پایدار باشد (تجمع صفر است) پس:

$$0 = \text{جرم ماده A خروجی} - \text{جرم ماده A ورودی}$$

$$\text{جرم ماده A خروجی} = \text{جرم ماده A ورودی}$$

بنابراین:

نکته ۱۰

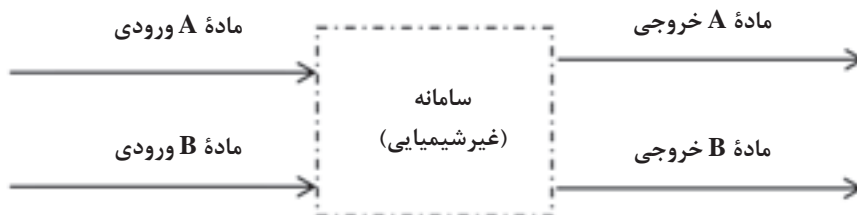


تفاوت معادله‌های (۱-۱۱) و (۱-۱۲) در چیست؟

تمرین ۱۴



**مثال ۲۱** برای سامانه پایدار مطابق با شکل ۲-۱ که فقط فرایند فیزیکی (غیرشیمیایی) در آن اتفاق می‌افتد، موازنه‌های قابل قبول را بنویسید.

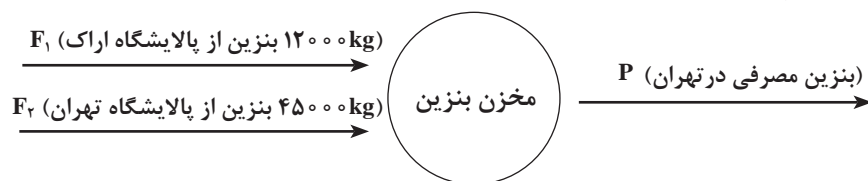


شکل ۱-۲

**پاسخ:** سامانه بدون واکنش شیمیایی پایدار است، و موازنه‌های زیر صادق است:

- ۱) جرم کل خروجی = جرم کل ورودی
- ۲) جرم A خروجی = جرم A ورودی
- ۳) جرم B خروجی = جرم B ورودی

**مثال ۲۲)** بنزین مصرفی خودروهایی شهر تهران از دو پالایشگاه تهران و اراک تأمین می‌شود. از پالایشگاه اراک روزانه ۱۲۰۰۰ کیلوگرم بنزین و از پالایشگاه تهران روزانه ۴۵۰۰۰ کیلوگرم بنزین وارد شهر تهران می‌شود، معین کنید در یک روز چند کیلوگرم بنزین مصرف می‌شود؟  
**پاسخ)** در این مثال مخلوط شدن دو جریان بنزین مطرح است که در عمل مخلوط کردن، واکنش شیمیایی وجود ندارد و سامانه پایدار است.



**موازنه جرم به دور سامانه عبارت است از:**

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه  
 (بنزین از پالایشگاه تهران) + (بنزین از پالایشگاه اراک) = جرم کل ورودی به سامانه

بنابراین:

$$F_1 + F_2 = 12000 + 45000 = 57000 \text{ kg} = \text{جرم کل ورودی به سامانه}$$

$$P = \text{بنزین مصرفی در شهر تهران} = \text{جرم کل خروجی از سامانه}$$

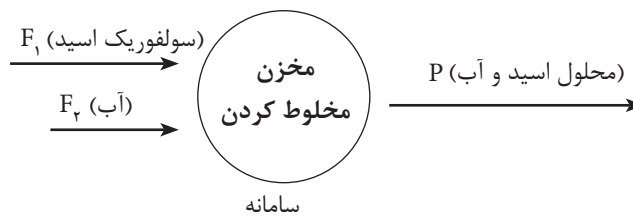
مطابق با موازنه جرم:

$$F_1 + F_2 = P \rightarrow P = 45000 + 12000 = 57000 \text{ kg}$$

بنابراین میزان روزانه بنزین ورودی و مصرفی در تهران ۵۷۰۰۰ کیلوگرم است.

**مثال ۲۳)** جریانی حاوی آب خالص با جرم ۲۵ کیلوگرم و جریانی حاوی سولفوریک اسید با جرم ۷۵ کیلوگرم را در یک مخزن با هم مخلوط می‌کنند. برای محصول به دست آمده مطلوب است تعیین:  
 الف) جرم محلول به دست آمده؛  
 ب) درصد جرمی اجزای محلول به دست آمده.

**پاسخ)** در این مثال هیچ واکنش شیمیایی اتفاق نمی‌افتد و سامانه پایدار است.



موازنه کل جرم به دور سامانه عبارت است از:

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

جرم محلول اسید و آب موجود در مخزن = جرم آب ورودی به مخزن + جرم اسید ورودی به مخزن

$$F_1 + F_2 = P$$

$$\text{جرم کل ورودی به مخزن} = F_1 + F_2 = 75 + 25 = 100 \text{ kg}$$

$$P = 100 \text{ kg}$$

بنابراین در جریان خروجی یا همان محلول تهیه شده که جرم کل آن ۱۰۰ کیلوگرم است، ۷۵ کیلوگرم اسید و ۲۵ کیلوگرم آب وجود دارد.

$$x_{\text{اسید}} = \frac{\text{جرم اسید در جریان } P}{\text{جرم کل } P} = \frac{75}{100} = 0/75$$

$$x_{\text{آب}} = \frac{\text{جرم آب در جریان } P}{\text{جرم کل } P} = \frac{25}{100} = 0/25$$

$$x_{\text{اسید}} + x_{\text{آب}} = 0/75 + 0/25 = 1/0$$

$$\text{درصد جرمی اسید در محلول} = 0/75 \times 100 = 75\%$$

$$\text{درصد جرمی آب در محلول} = 0/25 \times 100 = 25\%$$

۲۲: در یک پالایشگاه ۸۹,۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده است. معمولاً بنزین در پالایشگاه از دو واحد تبدیل کاتالیزگری و ایزومریزاسیون به دست می آید. اگر در این پالایشگاه از واحد تبدیل کاتالیزگری ۵۳,۰۰۰ کیلوگرم بنزین تولید شده باشد، مقدار بنزین تولیدی در واحد ایزومریزاسیون چقدر است؟

تمرین ۱۵

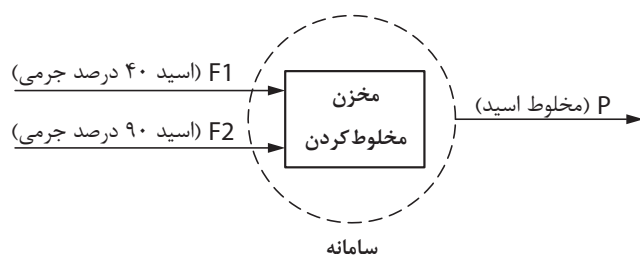


**مثال ۲۴)** دو جریان حاوی سولفوریک اسید با جرم ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم به ترتیب با خلوص ۴۰ درصد

جرمی و ۹۰ درصد جرمی با هم مخلوط می شوند، مطلوب است مقدار:

الف) جرم مخلوط سولفوریک اسید؛

ب) خلوص مخلوط سولفوریک اسید.





پاسخ: موازنه کل به دور سامانه

جرم کل خروجی از سامانه = جرم کل ورودی به سامانه

$F_1 + F_2 =$  جرم کل ورودی به سامانه

جرم کل خروجی از سامانه =  $P$

$$\longrightarrow \boxed{F_1 + F_2 = P}$$

اطلاعات مربوط به دو جریان اسید ورودی در جدول‌های زیر آورده شده است:

اطلاعات جریان  $F_1$

مواد	درصد جرمی	کسر جرمی	جرم اجزا (kg)
اسید	۴۰	۰/۴	$۰/۴ \times ۷۵ = ۳۰$
آب	۶۰	۰/۶	$۰/۶ \times ۷۵ = ۴۵$
جمع	۱۰۰	۱/۰	۷۵

اطلاعات جریان  $F_2$

مواد	درصد جرمی	کسر جرمی	جرم اجزا (kg)
اسید	۹۰	۰/۹	$۰/۹ \times ۱۵۰ = ۱۳۵$
آب	۱۰	۰/۱	$۰/۱ \times ۱۵۰ = ۱۵$
جمع	۱۰۰	۱/۰	۱۵۰

الف) موازنه کلی:

$$F_1 + F_2 = P \quad P = ۷۵ + ۱۵۰ = ۲۲۵ \text{ kg}$$

ب) برای تعیین مقدار اجزای جریان ترکیبی ( $P$ )، می‌بایست موازنه اجزا را حول سامانه تعیین کرد.

موازنه اسید به دور سامانه:

اسید خروجی در جریان  $P =$  اسید ورودی در جریان  $F_2 +$  اسید ورودی در جریان  $F_1$

$$۳۰ + ۱۳۵ = ۱۶۵ \text{ kg}$$

موازنه آب به دور سامانه:

آب خروجی در جریان  $P =$  آب ورودی در جریان  $F_2 +$  آب ورودی در جریان  $F_1$

$$۴۵ + ۱۵ = ۶۰ \text{ kg}$$

خلاصه محاسبات برای جریان خروجی (P) عبارت است از:

مواد	جرم (kg)	کسر جرمی	جرم اجزا (kg)
اسید	۱۶۵	$\frac{۱۶۵}{۲۲۵} = ۰/۷۳$	٪ ۷۳
آب	۶۰	$\frac{۶۰}{۲۲۵} = ۰/۲۷$	٪ ۲۷
جمع	۲۲۵	۱/۰	٪ ۱۰۰

بنابراین خلوص اسید ترکیبی، ۷۳ درصد جرمی خواهد بود.

۱: برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم سولفوریک اسید از دو جریان اسید که مقدار یکی از دو جریان ۶۵۰ کیلوگرم است، استفاده می‌شود، با استفاده از موازنه مواد و رسم شکل مقدار جریان دیگر را تعیین کنید.

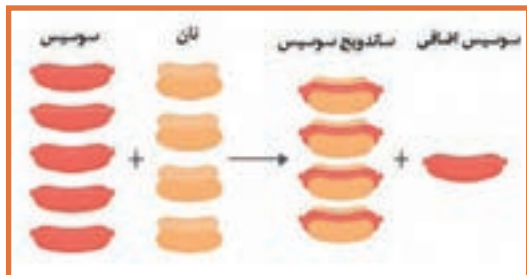
۲: برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم سولفوریک اسید با خلوص ۸۰ درصد جرمی سولفوریک اسید و مابقی آب، از یک جریان سولفوریک اسید خالص و یک جریان آب استفاده می‌شود. با استفاده از موازنه مواد و رسم شکل، مقدار هر دو جریان را تعیین کنید.

تمرین ۱۶



### موازنه مواد برای سامانه‌های دارای واکنش شیمیایی

برای سامانه‌ای که درون آن یک واکنش شیمیایی اتفاق می‌افتد و در حالت پایاست، موازنه‌های کلی و اجزا صادق است.



جرم کل مواد خروجی = جرم کل مواد ورودی

جرم ماده A تجمع یافته = جرم ماده A مصرفی - جرم ماده A تولیدی + جرم ماده A خروجی - جرم ماده A ورودی



لازم به ذکر است که برای یک واکنش شیمیایی ابتدا باید فرمول واکنش (معادله واکنش) را موازنه کرد و سپس موازنه مواد را برای آن انجام داد.

### موازنه واکنش‌های شیمیایی:

پس از نوشتن فرمول واکنش، اگر تعداد اتم‌های مواد مشابه در دو طرف واکنش یکسان باشند، آن واکنش را موازنه شده می‌نامند. بنابراین در واکنش‌های موازنه شده:

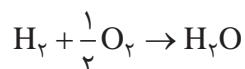
تعداد اتم‌های هر ماده در ترکیب شونده‌ها = تعداد اتم‌های همان ماده در محصولات

**مثال ۲۵** واکنش تولید آب ( $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$ ) را در نظر بگیرید، آیا این واکنش موازنه شده است؟ در غیر از این صورت آن را موازنه کنید.

**پاسخ** برای بررسی موازنه بودن یک واکنش باید تعداد اتم‌های هر ماده را در ترکیب شونده‌ها و محصولات مقایسه کرد.

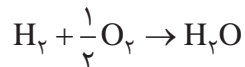
نام اتم	تعداد اتم‌ها در طرف اول (ترکیب شونده‌ها)	تعداد اتم‌ها در طرف دوم (محصولات)
H	۲	۲
O	۲	۱

پس این واکنش موازنه نیست، چون تعداد اتم اکسیژن در ترکیب شونده‌ها برابر با محصولات نیست، بنابراین اگر تعداد اتم‌های اکسیژن در ترکیب شونده‌ها نصف شود، این واکنش موازنه خواهد شد. یعنی:



نام اتم	تعداد اتم‌ها در طرف اول (ترکیب شونده‌ها)	تعداد اتم‌ها در طرف دوم (محصولات)
H	۲	۲
O	۱	۱

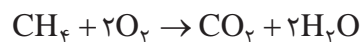
پس واکنش موازنه شده است:



**مثال ۲۶** واکنش سوختن متان به صورت  $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$  است، این واکنش را موازنه کنید.

نام مواد	تعداد اتم‌ها در ترکیب شونده‌ها	تعداد اتم‌ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۲
O	۲	۳

**پاسخ** برای موازنه می‌بایست با استفاده از ضرایبی در ترکیب شونده‌ها و یا محصولات تعداد اتم‌های هر ماده، در دو طرف واکنش را یکسان کرد. حال برای سوختن متان چنین واکنشی نوشته می‌شود.



با توجه به جدول تعداد اتم‌ها، می‌توان دریافت که این واکنش موازنه شده است.

**جواب)**

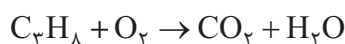
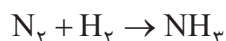
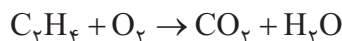
نام اتم	تعداد اتم‌ها در ترکیب شونده‌ها	تعداد اتم‌ها در محصولات
C	۱	۱
H	۴	۴
O	۴	۴

پس از موازنه و تنظیم ضرایب، دوباره کنترل کنید که معادله واکنش موازنه باشد.

نکته ۱۱



۲۵: واکنش‌های زیر را موازنه کنید.



**مثال ۲۷)** ۱۰۰ کیلوگرم کربن در یک کوره سوخته می‌شود، مطلوب است:

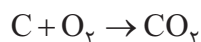
الف) میزان اکسیژن مصرفی؛

ب) میزان کربن دی‌اکسید تولیدی؛

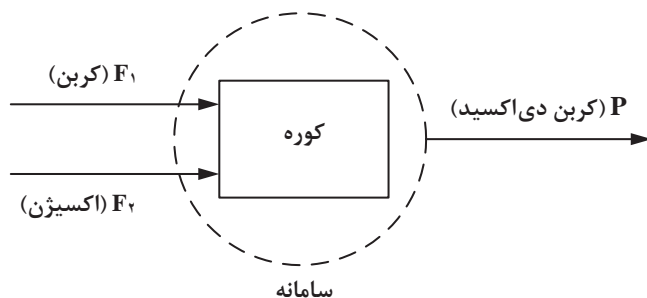
ج) موازنه کلی جرم و موازنه جرم هر یک از مواد.

$$Mw(C) = 12 \quad , \quad Mw(O_2) = 32 \quad , \quad Mw(CO_2) = 44$$

**پاسخ:** در ابتدا می‌بایست معادله واکنش را نوشت و سپس آن را موازنه کرد.



این واکنش موازنه است و هر سه ماده دارای ضریب استوکیومتری یک هستند، یعنی برای سوزاندن یک مول کربن، یک مول اکسیژن مصرف می‌شود و یک مول کربن دی‌اکسید تولید می‌شود.



در ابتدا لازم است تعداد مول کربن را با توجه به تعریف جرم مولکولی تعیین کرد.

$$Mw = \frac{m}{n} \rightarrow n = \frac{m}{Mw} \rightarrow n_c = \frac{100}{12} = 8/33 \text{ مول}$$

حال با استفاده از موازنه مولی مقدار اکسیژن مصرفی و کربن دی اکسید تولیدی تعیین می شود.

کربن مصرفی (kmol)	اکسیژن مصرفی (kmol)
۱	۱
۸/۳۳	x

$$X = \frac{8/33 \times 1}{1} = 8/33 \text{ اکسیژن مصرفی (کیلومول)}$$

حال با استفاده از تعریف جرم مولکولی، جرم اکسیژن مصرفی تعیین می شود.

$$Mw O_2 = \frac{m O_2}{n O_2} \rightarrow m O_2 = Mw O_2 \times n O_2 = 32 \times 8/33 = 266/6 \text{ kg}$$

حال با استفاده از ضریب های استوکیومتری، مقدار کربن دی اکسید را به دست می آوریم:

کربن مصرفی (kmol)	کربن دی اکسید تولیدی (kmol)
۱	۱
۸/۳۳	x

$$x = \frac{8/33 \times 1}{1} = 8/33 \text{ کربن دی اکسید تولیدی (کیلومول)}$$

حال با استفاده از تعریف جرم مولکولی، جرم کربن دی اکسید تولیدی تعیین می شود.

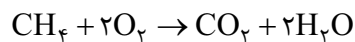
$$m CO_2 = M_{wCO_2} \times n CO_2 = 44 \times 8/33 = 366/6 \text{ kg}$$

حال موازنه جرم کنترل می شود:

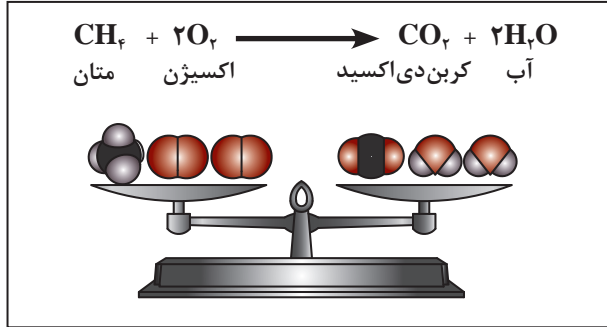
$$\begin{aligned} \text{کل جرم اکسیژن} + \text{کل جرم کربن} &= \text{کل جرم ورودی} \\ &= 100 + 266/6 = 366/6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$366/6 = 366/6 \Rightarrow \text{کل جرم خروجی} = \text{کل جرم ورودی} \Rightarrow \text{بنابراین} \quad 366/6 = \text{کل جرم خروجی}$$

**مثال ۲۸)** یکصد و شصت کیلوگرم متان در کوره سوخته می شود و گازهای کربن دی اکسید و بخار آب تولید می شود، فرمول موازنه شده واکنش به این صورت است:

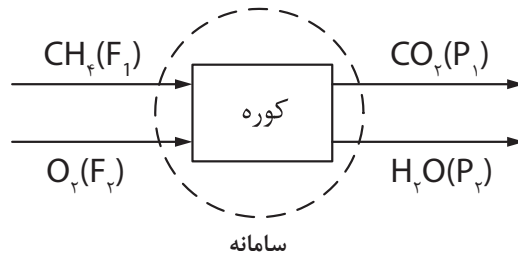


با توجه به اطلاعات زیر مطلوب است تجزیه و تحلیل گاز خروجی از دودکش:



$$Mw_{\text{H}_2\text{O}} = 18, \quad Mw_{\text{CO}_2} = 44, \quad Mw_{\text{O}_2} = 32, \quad Mw_{\text{CH}_4} = 16$$

پاسخ:  $\text{CO}_2 = (P)$



با توجه به معلوم بودن جرم متان ابتدا باید مول متان تعیین شود، سپس با استفاده از معادله واکنش مقادیر اکسیژن مصرفی،  $\text{CO}_2$  تولیدی و بخار آب تولیدی محاسبه می شود.

$$M_w = \frac{m}{n} \rightarrow n = \frac{m}{M_w}$$

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{CH}_4}}{Mw_{\text{CH}_4}} = \frac{160}{16} = 10 \text{ kmol}$$

حال با استفاده از معادله واکنش مقایسه بین مواد انجام می شود.

اکسیژن مصرفی (kmol)	$\text{CH}_4$ ورودی (kmol)
2	1
X	10

$$\rightarrow X = \frac{10 \times 2}{1} = 20 \text{ kmol}$$

کربن دی اکسید تولیدی (kmol)	$\text{CH}_4$ ورودی (kmol)
1	1
X	10

$$\rightarrow X = \frac{10 \times 1}{1} = 10 \text{ kmol}$$

آب تولیدی (kmol)	CH <sub>4</sub> ورودی (kmol)
1	1
X	10

$$\rightarrow X = \frac{10 \times 2}{1} = 20 \text{ kmol}$$

با استفاده از رابطه جرم مولکولی ( $M_w = \frac{m}{n}$ )، جرم هر یک از اجزا تعیین می شود.

$$M_w = \frac{m}{n} \rightarrow m = M_w \times n$$

$$m_{O_2 \text{ (ورودی مصرفی)}} = 32 \times 20 = 640 \text{ kg}$$

$$m_{CO_2 \text{ (تولیدی خروجی)}} = 44 \times 10 = 440 \text{ kg}$$

$$m_{H_2O \text{ (تولیدی خروجی)}} = 18 \times 20 = 360 \text{ kg}$$

### بررسی موازنه جرم کلی:

$$F_1 + F_2 = 160 + 640 = 800 \text{ kg}$$

$$P_1 + P_2 = 440 + 360 = 800 \text{ kg}$$

جرم کل خروجی = جرم کل ورودی

$$F_1 + F_2 = P_1 + P_2$$

بنابراین:

### اطلاعات جریان خروجی

مواد	جرم (kg)	کسر جرمی	درصد جرمی
CH <sub>4</sub>	0	0	0
O <sub>2</sub>	0	0	0
CO <sub>2</sub>	440	$\frac{440}{800} = 0.55$	٪۵۵
H <sub>2</sub> O	360	$\frac{360}{800} = 0.45$	٪۴۵
جمع	800	1	٪۱۰۰

بنابراین در جریان خروجی از این کوره، ۵۵ درصد جرمی گاز CO<sub>2</sub> و ۴۵ درصد جرمی، بخار آب وجود دارد.

## ارزشیابی شایستگی پودمان به کارگیری محاسبات در صنایع شیمیایی

**شرح کار:**

- انجام دادن محاسبات طبق روش کار و انجام دادن موازنه مواد برای سامانه‌های داده شده؛

**استاندارد عملکرد:**

- انجام دادن عملیات ریاضی در محاسبات صنایع شیمیایی

**شاخص‌ها:**

- داشتن دانش پایه ریاضی
- توانایی تبدیل واحدهای اندازه‌گیری در دستگاه‌های بین‌المللی یکاها
- توانایی موازنه مواد در فرایندهای فیزیکی و شیمیایی

**شرایط انجام دادن کار و ابزار و تجهیزات:**

مکان: کلاس      زمان: یک جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: جدول تبدیل یکاها در دستگاه‌های اندازه‌گیری، ابزار عمومی

**معیار شایستگی:**

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	به کارگیری یکاها و ابعاد	۱	
۲	تبدیل یکاها	۲	
۳	موازنه مواد ورودی و خروجی به یک سامانه	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۵- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
	<b>میانگین نمرات</b>		*

\* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.



## پودمان ۲

### دستگاه‌های حرارتی



در صنایع شیمیایی، همه فرایندها در دمای محیط انجام نمی‌شوند. هنگامی که در بخشی از فرایندها دما بالاتر یا پایین‌تر از محیط است، استفاده از دستگاه‌های حرارتی و آگاهی از طرز عملکرد آنها لازم است.

## واحد یادگیری ۲: دستگاه‌های حرارتی

### مقدمه

در صنایع شیمیایی، دستگاه‌های حرارتی برای انتقال گرما استفاده می‌شوند. کاربرد هر یک از این دستگاه‌ها به هدف انتقال حرارت بستگی دارد؛ به‌عنوان مثال، هنگامی که هدف، انتقال حرارت بین دو سیال مهم باشد، از مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود. اگر هدف از انتقال حرارت، فقط خنک کردن آب باشد، کافی است از برج‌های خنک‌کننده استفاده شود تا آب گرم، خنک شود و اگر تبخیر رطوبت یک ماده، هدف باشد، از خشک‌کن‌ها استفاده می‌شود تا از طریق انتقال گرما، رطوبت ماده خارج شود. در این بخش انواع دستگاه‌های حرارتی، مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها معرفی می‌شوند. روش عملکرد، اصول حاکم بر هر یک از این دستگاه‌ها و انواع آن معرفی خواهد شد و با انجام دادن آزمایش و بازدیدهای علمی، طرز عملکرد هر یک را بهتر درک خواهید کرد.

### استاندارد عملکرد

کار با مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها مطابق با دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی:

- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی، انجام دادن کارها و وظایف محوله؛
- ۴- مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛
- ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

- ۱- کار با مبدل‌های حرارتی؛
- ۲- کار با برج‌های خنک‌کننده؛
- ۳- کار با خشک‌کن‌ها.

## ۲-۱- انتقال حرارت

بحث کنید ۱



به نظر شما آتش چگونه دست ما را گرم می‌کند؟

در بیشتر کارخانه‌های صنایع شیمیایی اعم از پالایشگاه‌های نفت، گاز و پتروشیمی تبادل گرما از جریان یا مواد اصلی فرایند اجتناب‌ناپذیر است. این تبادل گرما ممکن است با یک سیال دیگر فرایند، آب، بخار آب، هوا و یا مانند آن صورت گیرد تا دمای آن افزایش یا کاهش یابد. رادیاتور موتور خودرو که آب در گردش داخل موتور را با جریان هوا خنک می‌کند، یا شوفاژها و سامانه‌های تهویه از انواع دستگاه‌های حرارتی هستند.

نیروی محرکه انتقال گرما، اختلاف دما است. به این معنی که تا زمانی که اختلاف دمایی بین دو جسم نباشد، انتقال گرمایی صورت نمی‌گیرد؛ به‌طور کلی سه روش برای انتقال حرارت وجود دارد که عبارت‌اند از: رسانایی<sup>۱</sup>، جابه‌جایی<sup>۲</sup> و تشعشع<sup>۳</sup> (تابش). روش انتقال حرارت رسانایی به تبادل گرما از درون یک جسم جامد گفته می‌شود، که از طریق جنبش مولکول‌ها و الکترون‌ها صورت می‌پذیرد. وقتی جسم گرم می‌شود، سرعت مولکول‌های آن به‌سرعت افزایش می‌یابد؛ لذا مولکول‌ها با انرژی بالا به مولکول‌های نزدیک برخورد می‌کنند و آنها را به حرکت وا می‌دارند. بدین ترتیب انرژی گرمایی منتقل می‌شود. وقتی دست خود را با شوفاژ تماس می‌دهیم، انتقال گرمای رسانایی باعث گرم شدن دست ما می‌شود. انتقال گرمای جابه‌جایی به تبادل حرارتی از طریق حرکت سیال‌ها (مایع و گاز) اطلاق می‌شود، خنک شدن بدن از طریق هوای کولر و گرم شدن بدن از طریق هوای بخاری خودرو از نمونه‌های انتقال حرارت جابه‌جایی است. انتقال حرارت به‌روش تشعشع زمانی کاربرد دارد که اختلاف دمای دو سطح بسیار زیاد است، به‌عنوان مثال هنگامی که نزدیک شعله‌های آتش باشیم، تابش زبانه‌های آتش باعث گرم شدن ما می‌شود.

۱- Conduction

۲- Convection

۳- Radiation



فیلم روش‌های انتقال حرارت را مشاهده کنید و در مورد روش‌های استفاده شده برای انتقال گرما با هم کلاسی‌های خود بحث کنید.

دستگاه‌های حرارتی با توجه به هدف از تبادل گرما، نوع سیال‌های تبادل‌دهنده، حرارت و میزان تبادل گرمای سیال، انواع مختلفی دارند و به صورت زیر نام‌گذاری می‌شوند:

جدول ۱-۲. نام‌گذاری دستگاه‌های حرارتی بر اساس سیال‌های تبادل‌دهنده و هدف از تبادل

نام رایج در صنعت	هدف	سیال‌های تبادل‌دهنده	دسته‌بندی
Process to Process Heat Exchanger	کاهش دمای یک جریان و افزایش دمای جریان دیگر	دو جریان فرایندی <sup>۲</sup>	مبدل حرارتی <sup>۱</sup>
Water Cooler	سرد کردن جریان فرایندی	جریان فرایندی - آب	
Steam Heater	گرم کردن جریان فرایندی	جریان فرایندی - بخار	
Air Cooler	سرد کردن جریان فرایندی	جریان فرایندی - هوا	کولر هوایی
Fired Heater	گرم کردن جریان فرایندی به میزان بیشتر نسبت به گرم‌کننده	جریان فرایندی - گاز حاصل از سوختن	کوره
Cooling Tower	سرد کردن آب برای استفاده در خنک‌کننده آبی	آب - هوا	برج خنک‌کننده
Dryer	خشک کردن رطوبت جامد	جامد مرطوب - هوا	خشک‌کن
Boiler	تولید بخار برای استفاده در گرم‌کننده	آب - گاز به دست آمده از سوختن	دیگ بخار

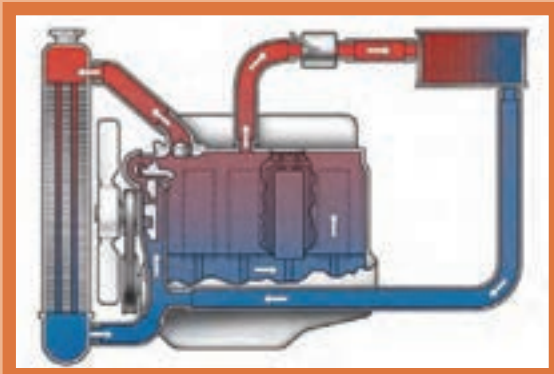
روش‌های انتقال حرارت رسانایی و جابه‌جایی در همه دستگاه‌های حرارتی فوق کاربرد دارند، در حالی که روش تابش تنها در کوره‌ها و دیگ بخار استفاده می‌شود.

۱. Heat Exchanger

۲. جریان مایع یا گاز موجود در یک کارخانه را جریان فرایندی می‌گویند.

## ۲-۲- مبدل‌های حرارتی

شیوه عملکرد شوفاژها و رادیاتور ماشین را مقایسه کنید و شرح دهید؟



بحث کنید ۲



مبدل‌های حرارتی به آن دسته از دستگاه‌های حرارتی گفته می‌شود که در آنها تبادل حرارت بدون تماس مستقیم بین دو سیال فرایندی، آب و یا بخار از طریق رسانایی دیواره لوله‌ها و نیز انتقال حرارت از نوع جابه‌جایی سیال صورت می‌گیرد. گرما از سیال گرم به دیواره لوله‌ها و سپس به سیال سرد منتقل می‌شود.

### انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس نوع جریان

فیلم مبدل‌های دو لوله‌ای را ببینید و به هم‌سو و ناهم‌سو بودن جریان‌ها توجه کنید. کدام یک کارایی و بازدهی بیشتری دارد؟

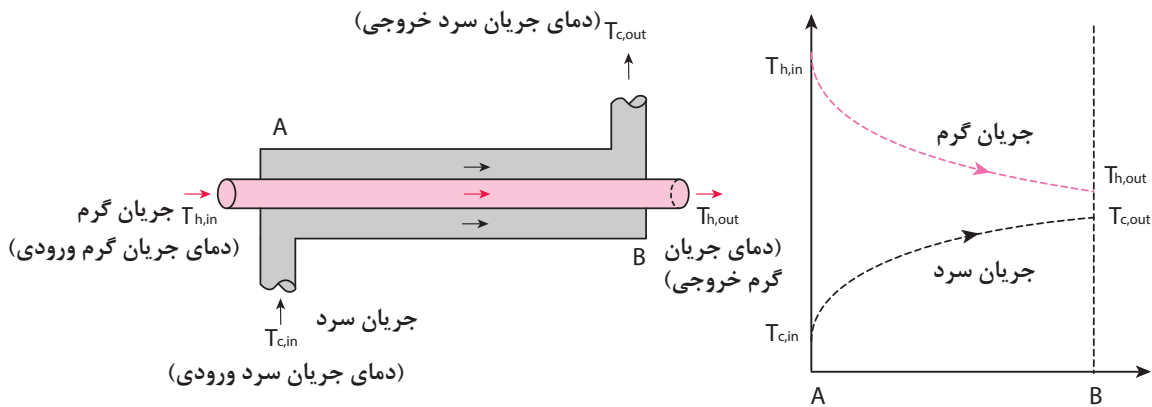
فیلم ۲



در مبدل‌های حرارتی شیوه عبور جریان سرد و گرم یکی از مشخصه‌های مهم است که در میزان اختلاف دما (به‌عنوان نیروی محرکه تبادل حرارت) تأثیر دارد و به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

### جریان هم‌سو<sup>۱</sup>

در مبدل‌ها با جریان هم‌سو، جریان سرد و گرم از یک سو وارد مبدل شده و هر دو از سمت دیگر خارج می‌شوند (شکل ۲-۱).

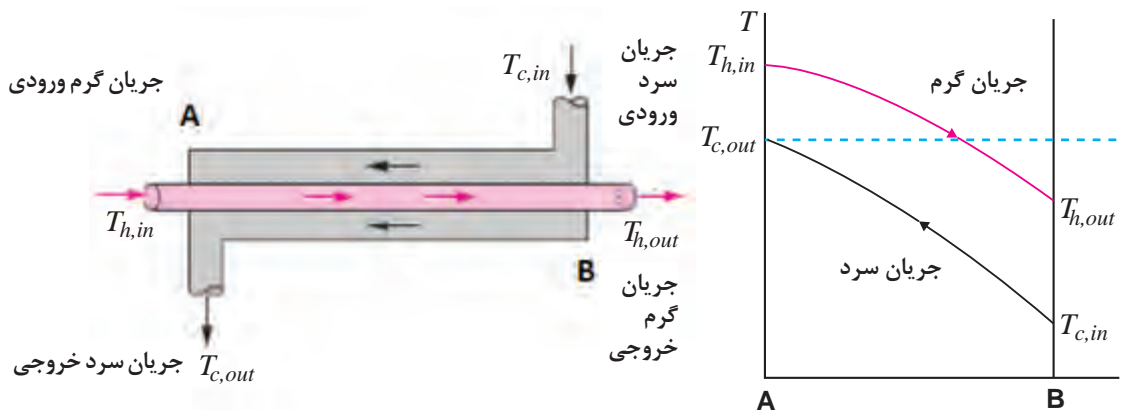


شکل ۲-۱- جریان هم‌سو در مبدل‌ها و شیوه تغییرات دما

در این حالت اختلاف دما در امتداد مبدل کاهش می‌یابد و در نتیجه از شدت انتقال گرما به مرور کاسته می‌شود و برای هم‌دما شدن دو سیال، به میزان بی‌نهایت سطح انتقال حرارت نیاز است. این نوع جریان بازدهی کمی نسبت به سطح انتقال حرارت دارد.

### جریان ناهم‌سو<sup>۱</sup>

در مبدل‌ها با جریان ناهم‌سو، جریان گرم و سرد از دو سمت مخالف وارد می‌شوند (شکل ۲-۲).

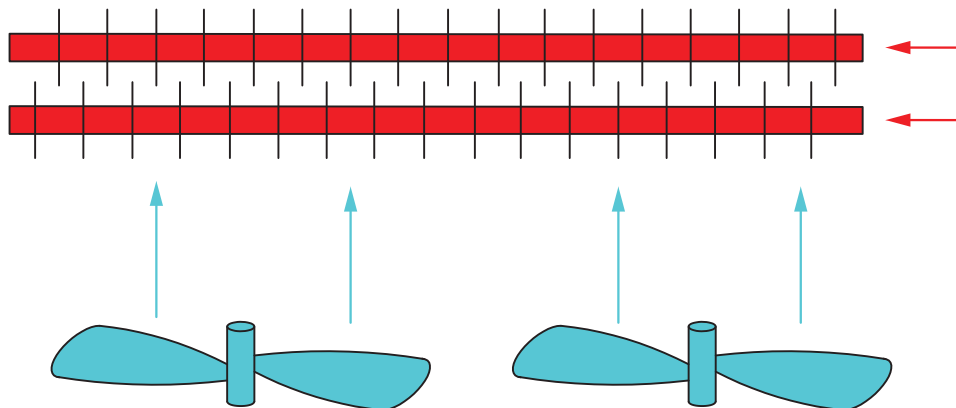


شکل ۲-۲- جریان ناهم‌سو در مبدل‌ها و تغییرات دما در طول مبدل

در جریان‌های متقابل یا ناهم‌سو، اختلاف دمای دو سیال در امتداد مبدل تقریباً ثابت است و انتقال حرارت به‌خوبی صورت می‌پذیرد. این نوع جریان به‌علت بازدهی بالاتر نسبت به سطح انتقال حرارت کاربرد وسیع‌تری دارد.

### جریان متقاطع<sup>۱</sup>

در این حالت جریان‌های سرد و گرم به صورت متقاطع از کنار یکدیگر عبور می‌کنند، که در کولرهای هوایی اتفاق می‌افتد (شکل ۲-۳).



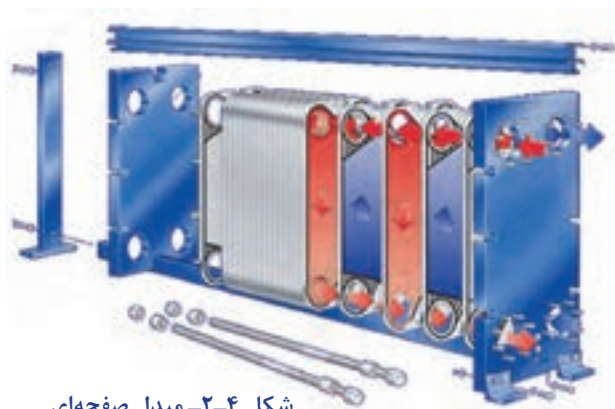
شکل ۲-۳- جریان متقاطع در کولرهای هوایی

### ۲-۳- انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس ساختمان آنها

مبدل‌های حرارتی بر اساس ساختمان، به سه دسته مبدل‌های صفحه‌ای<sup>۲</sup> و مبدل‌ها با سطوح پره‌دار<sup>۳</sup> و مبدل‌های لوله‌ای<sup>۴</sup>، تقسیم‌بندی می‌شوند.

### مبدل‌های صفحه‌ای

این مبدل‌ها از صفحات نازک با سطوح چین‌دار تشکیل شده‌اند (شکل ۲-۴) که سیال‌های سرد و گرم را از یکدیگر جدا می‌سازند. صفحه‌ها با استفاده از واشر، جوش یا لحیم به یکدیگر متصل می‌شوند تا از نشت سیال جلوگیری شود.



شکل ۲-۴- مبدل صفحه‌ای

۱-Cross Flow

۲-Plate and Frame Heat Exchanger

۳-Finned Surfaces Heat Exchanger

۴-Tubular Heat Exchanger

## مبدل‌های صفحه‌ای از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

۱- صفحه ثابت؛ ۲- صفحه‌های انتقال حرارت؛ ۳- صفحه متحرک؛ ۴- تکیه‌گاه؛ ۵- میله حامل؛ ۶- پیچ محکم‌کننده.

در این مبدل‌ها نسبت سطح انتقال حرارت به حجم مبدل زیاد است، و به همین دلیل در زمان کوتاهی انتقال حرارت انجام می‌شود. مبدل صفحه‌ای سبک‌ترین نوع مبدل است و معمولاً برای انتقال گرما بین گاز- مایع یا جریان‌های دو فازی استفاده می‌شود؛ اما فشار و دمای عملیاتی آن کم است و برای سیالات خطرناک و عملیات در شرایط خلأ مناسب نیست.

فیلم مبدل‌های صفحه‌ای را ببینید و در مورد شیوه عملکرد آن بحث کنید.

فیلم ۳



## مبدل‌ها با سطوح پره‌دار



شکل ۵-۲- لوله‌های پره‌دار استفاده شده در مبدل‌ها با سطوح پره‌دار

در این نوع مبدل‌ها سطح صفحه یا لوله دارای پره (یا فین) است. با توجه به اینکه ضریب انتقال حرارت در سمت گاز از سمت مایع کوچک‌تر است، با نصب پره‌ها در سمت گاز و ایجاد اغتشاش در آن، ضریب انتقال حرارت و در نتیجه میزان تبادل گرما افزایش می‌یابد. در شکل ۵-۲ لوله‌های پره‌دار نشان داده شده است.

پره‌ها (فین‌ها) به صورت‌های طولی، عمود بر لوله یا مارپیچ روی لوله قرار دارند. از این لوله‌های پره‌دار، عمدتاً در کولرهای هوایی استفاده می‌شود.

## مبدل‌های لوله‌ای

فیلم ۴



فیلم مبدل‌های دو لوله‌ای را ببینید و به هم‌سو و ناهم‌سو بودن جریان‌ها توجه کنید. کدام یک کارایی و بازدهی بیشتری دارد؟

مبدل‌های لوله‌ای از رایج‌ترین مبدل‌های حرارتی هستند، که نوع دو لوله‌ای<sup>۱</sup> و پوسته - لوله‌ای<sup>۲</sup> آن پرکاربردترین است. در نوع دو لوله‌ای، یک لوله در داخل لوله‌ای با قطر بزرگتر قرار می‌گیرد. در مبدل‌های پوسته - لوله‌ای یک دسته لوله داخل پوسته قرار می‌گیرد. در این مبدل‌ها سیال‌های سرد یا گرم از یک سمت وارد لوله و از سمت دیگر آن خارج می‌شود. سیال دوم به لوله بزرگ‌تر و یا پوسته وارد می‌شود و پس از تبادل گرما از سمت دیگر خارج می‌شوند.

۱- Double Pipe Heat Exchanger

۲- Shell and Tube Heat Exchanger

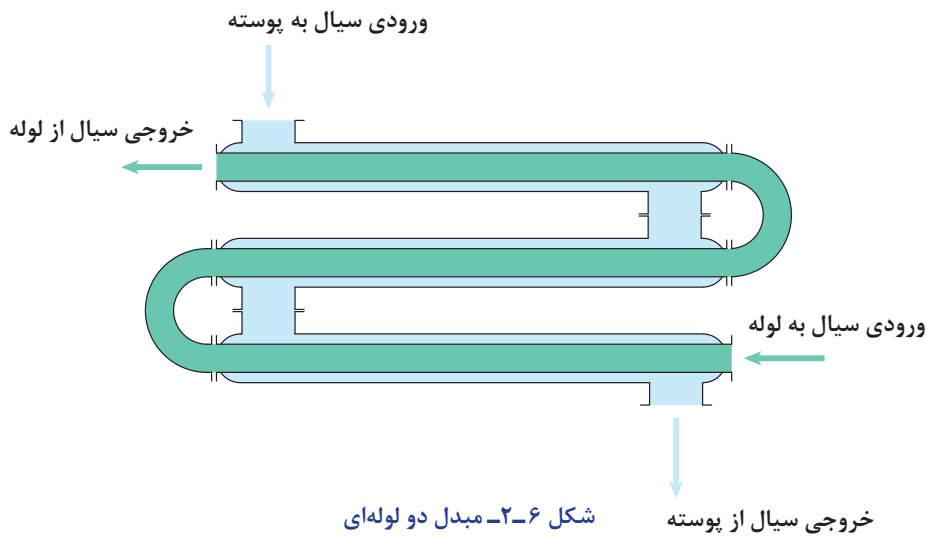


## مبدل حرارتی دو لوله‌ای

این مبدل‌ها از دو لوله هم محور تشکیل شده است (شکل ۶-۲). کاربرد این تجهیز حرارتی هنگامی است که سطح انتقال گرما کوچک باشد و یا جریان یکی از دو سیال کم یا گران‌روی آن زیاد باشد.

در شکل ۶-۲ جریان‌ها به صورت هم‌سو، ناهم‌سو و یا متقاطع است؟ هر یک در کدام بخش اتفاق می‌افتد.

فکر کنید ۱



شکل ۶-۲- مبدل دو لوله‌ای

به تعداد تماس سیال سرد و گرم، گذر<sup>۱</sup> گفته می‌شود؛ به عنوان مثال در شکل ۶-۲ مبدل دارای سه گذر است.

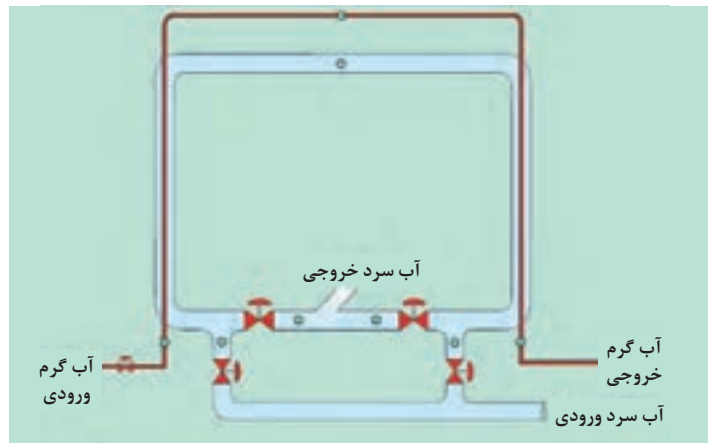
در این فعالیت عملکرد مبدل حرارتی دو لوله‌ای را بررسی کنید.

### وسایل لازم:

- ۱- لوله ۰/۲۵ اینچی برای عبور آب گرم؛
- ۲- لوله ۰/۷۵ اینچی برای عبور آب سرد؛
- ۳- مخزن ذخیره آب گرم؛
- ۴- پمپ انتقال آب؛
- ۵- عدد شیر برای بستن یا باز کردن مسیرهای آب گرم و سرد؛
- ۶- عدد دماسنج؛
- ۷- عایق برای عایق‌بندی لوله‌های آب سرد و گرم.

فعالیت  
کارگاهی ۱





آزمایش مبدل حرارتی دولوله‌ای - U - شکل

- ۱- هنگام کار کردن با منبع سیال گرم با دمای بالا و استفاده از سطوح داغ، از دست‌کش‌های عایق گرما استفاده کنید.
- ۲- هنگام کار با دستگاه دقت کنید تا آب داخل مخزن کاملاً خالی نشود.

نکته ایمنی ۱



### مراحل فعالیت کارگاهی:

- ۱- آب گرم درون مخزن را تا دمای ۷۰ درجه سلسیوس گرم کنید؛
- ۲- پمپ انتقال آب را روشن کنید؛
- ۳- شیرهای آب سرد را باز کنید تا آب سرد به صورت هم‌سو با آب گرم در لوله بیرونی جریان یابد؛
- ۴- دمای نقاط مختلف را در جدول صفحه بعد یادداشت کنید. متوجه خواهید شد که پس از مدتی دمای نقاط به ثبات رسیده‌اند. در این هنگام، مبدل حرارتی به حالت پایداری رسیده است و مرحله اول آزمایش در این زمان به پایان رسیده است.
- ۵- شیرهای آب سرد را به گونه‌ای باز کنید تا به صورت ناهم‌سو با جریان آب گرم حرکت کند و دوباره دمای نقاط را در زمان‌های متناظر با حالت هم‌سو، تا زمان رسیدن به حالت پایا یادداشت کنید؛
- ۶- دمای نقاط متناظر در حالت جریان هم‌سو و جریان ناهم‌سو را با هم مقایسه و نتیجه‌گیری کنید؛
- ۷- نمودار دمایی پایدار آب سرد و گرم در دو حالت آزمایش را ترسیم کنید.

با توجه به کمبود منابع آب در کشور، آب خروجی از مبدل (آب سرد و آب گرم) به مخزن ذخیره آب هدایت شود.

نکته ۱



۱: در این آزمایش مقدار جریان و دمای آب سرد و گرم ورودی در هر دو حالت می‌بایست یکسان باشد. علت چیست؟

پرسش ۱



۲: در صورتی که مخزن آب در حال کار خالی شود، چه مشکلی می‌تواند ایجاد کند؟

جدول ثبت نتایج:

		...	...	...	۶۰	۳۰	هم‌سو	زمان (دقیقه)
							هم‌سو	دمای آب سرد ورودی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب سرد میانی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب سرد خروجی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم ورودی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم میانی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم خروجی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	

## مبدل حرارتی پوسته - لوله

مبدل‌های پوسته - لوله (شکل ۷-۲)، کاربرد بسیار وسیعی در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و صنایع غذایی دارند. این نوع مبدل از پوسته<sup>۱</sup>، دسته لوله<sup>۲</sup>، کله‌گی جلو<sup>۳</sup> و کله‌گی عقب<sup>۴</sup> تشکیل شده است. به محل ورود و خروج جریان‌ها نازل<sup>۵</sup> می‌گویند. دسته لوله‌ها با استفاده از صفحه لوله<sup>۶</sup> در ابتدا و انتهای آن ثابت شده است، و برای ثابت نگه داشته شدن لوله‌ها و همچنین ایجاد اغتشاش در جریان سمت پوسته، از تیغه (بافل<sup>۷</sup>) استفاده می‌شود.



شکل ۷-۲- مبدل پوسته - لوله

فیلم مبدل‌های پوسته-لوله‌ای را ببینید و در مورد اجزای تشکیل دهنده آن بحث کنید.

فیلم ۵



در آزمایشی مشابه فعالیت کارگاهی مبدل حرارتی دولوله‌ای، عملکرد مبدل حرارتی پوسته-لوله را بررسی کنید.

فعالیت

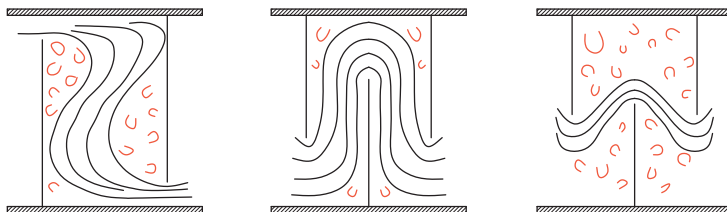
کارگاهی ۲



پرسش ۲



در کدام شکل، اندازه و طراحی تیغه مناسب است؟ دلیل خود را بیان کنید.



۱- در صورتی که یک سیال سمی یا دارای خوردگی بالا باشد، می‌بایست از درون لوله‌ها جریان یابد؛ زیرا تعویض و تمیز کردن لوله‌ها به راحتی انجام می‌شود.

۲- در صورتی که جریان درون پوسته دارای دمای بالاتر از ۶۰ درجه سلسیوس باشد، پوسته مبدل می‌بایست عایق‌بندی شود.

۳- همه اتصالات می‌بایست به خوبی بسته شوند تا از نشت سیال به بیرون جلوگیری شود.

نکته‌ایمنی ۲



۱- Shell

۲- Tube Bundle

۳- Front End Head

۴- Rear End Head

۵- Nozzle

۶- Tube sheet

۷- Baffle

## ۴-۲- برج‌های خنک‌کننده<sup>۱</sup>



شکل ۸-۲- برج خنک‌کن

در بیشتر کارخانه‌های کوچک و بزرگ، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین دستگاه‌ها، انواع برج‌های خنک‌کننده است. برج‌های خنک‌کننده علاوه بر آب به منظور خنک کردن سیالات دیگر استفاده می‌شود.

برج‌های خنک‌کننده و چیلرها جهت خنک‌سازی آب استفاده می‌شوند. در برج‌های خنک‌کننده گرمای اضافی آب را به وسیله هوا و تبخیر آب، حذف می‌کنند تا گرمای ایجادشده در فرایند را دفع کنند (شکل ۸-۲). برج خنک‌کننده یا برج خنک‌کن برای کاهش دمای آب در فرایندهای سردسازی سامانه‌های تهویه مطبوع، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و دیگر واحدهای صنعتی استفاده می‌شود.

در تمام کارخانه‌ها تعداد زیادی دستگاه مبدل حرارتی وجود دارد که در بیشتر آنها آب عامل سردکنندگی است. علت چیست؟

پرسش ۳



فرض کنید در یک واحد صنعتی، مبدلی جهت سرمایش جریان فرایندی استفاده می‌شود. در این مبدل آب مصرفی از دمای ۳۰ درجه سلسیوس به ۴۰ درجه سلسیوس می‌رسد. آب مصرفی برای سرد کردن جریان، می‌تواند از دریا فراهم شود، در این صورت آب با دمای ۴۰ درجه سلسیوس به دریا هدایت می‌شود.

دمای آب ورودی به دریا و رودخانه نباید از حد مجاز که از سوی سازمان محیط زیست اعلام می‌شود بیشتر باشد، زیرا موجب تغییر در محیط اطراف آن و صدمه به آبزیان می‌شود.

نکته زیست محیطی ۱



اما اگر واحد صنعتی در شهرهای غیر ساحلی قرار گرفته باشد، می‌بایست از آب به صورت گردش استفاده کرد تا از اتلاف آب جلوگیری شود. در این صورت، هنگامی که دمای آب از ۳۰ درجه سلسیوس به ۴۰ درجه سلسیوس رسید، برای خنک کردن دوباره مناسب نیست و باید آن را برای استفاده دوباره به دمای ۳۰ درجه سلسیوس رساند.



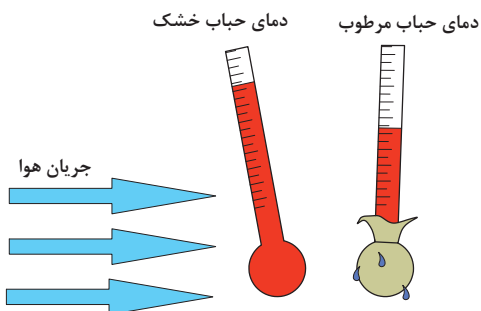
چرا در مثال بالا آب با دمای ۴۰ درجهٔ سلسیوس برای خنک‌سازی جریان فرایندی مناسب نیست؟

برج‌های خنک‌کننده دارای اندازه‌های مختلفی هستند، که از برج‌های نصب‌شده بر روی بام ساختمان‌ها تا سازه‌های هذلولی شکل که ارتفاع آن ممکن است به ۲۰۰ متر و قطر ۱۰۰ متر برسد، متغیر است. در رابطه با برج‌های خنک‌کننده، تقسیم‌بندی‌های مختلفی می‌توان انجام داد. سه مشخصهٔ مهم در برج‌های خنک‌کن عبارت‌اند از:

- ۱- روش انتقال گرما: تماس بین آب و هوا می‌تواند به صورت مستقیم یا غیر مستقیم انجام بگیرد.
- ۲- شیوهٔ گردش هوا: هوا می‌تواند به صورت طبیعی و یا به صورت مکانیکی (به وسیله پمپ یا فن) انجام شود.
- ۳- شیوهٔ حرکت هوا نسبت به جریان آب (جریان هم‌جهت، جریان متقابل و جریان متقاطع).

### دمای حباب خشک<sup>۱</sup> و دمای حباب مرطوب<sup>۲</sup>

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های تأثیرگذار در عملکرد برج خنک‌کننده، دمای حباب مرطوب و دمای حباب خشک هوا است. دمای حباب خشک هوا دمایی است که با یک دماسنج که به‌طور مستقیم در معرض هوا و به دور از رطوبت و تابش مستقیم قرار گرفته باشد، اندازه‌گیری شود.



دمای هوا را که دماسنج (که حباب آن توسط یک پارچهٔ خیس پوشانده شده است و با محیط اطراف خود در تماس است) نشان می‌دهد، دمای حباب مرطوب می‌نامند. این دما کمتر از دمای هوای خشک است. این دما در سامانه‌های تبخیری و برج خنک‌کننده تعیین‌کننده است و کمترین دمایی است که در این سامانه‌ها قابل دسترس هست. دمای هوای مرطوب بستگی به رطوبت نسبی هوا، دمای خشک، ارتفاع و فشار هوا دارد.

آیا در رطوبت نسبی ۱۰۰، دمای حباب خشک و دمای حباب مرطوب با هم تفاوتی دارند؟ چرا؟ با هم‌گروهی‌های خود بحث کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.



به چه دلیل در صنعت، دمای حباب خشک و مرطوب هوا اهمیت دارد.



۱- Dry-bulb Temperature

۲- Wet-bulb Temperature

دمای حباب مرطوب و دمای حباب خشک هوای محیط را در آزمایشگاه و فضای آزاد اندازه گیری کنید و نتیجه را ارائه دهید

با توجه به روش انتقال گرما، برج‌های خنک کننده به انواع برج خنک کننده<sup>۱</sup> مرطوب<sup>۱</sup> و برج خنک کننده خشک<sup>۲</sup> تقسیم بندی می شود:

فیلم مربوط به برج خنک کن مرطوب را مشاهده کنید و درباره شیوه عملکرد آن با هم گروهی‌های خود بحث کنید و گزارش خود را درباره بخش‌های مختلف آن، متقابل و متقاطع بودن جریان آب و هوا و همچنین طبیعی یا القایی بودن جریان هوا در کلاس ارائه دهید.

فیلم مربوط به برج خنک کن خشک را مشاهده کنید و درباره شیوه عملکرد آن با هم گروهی‌های خود بحث کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

هنگام کار کردن در یک برج خنک کن در حال کار و نمونه‌گیری، از ماسک‌های محافظ ذرات هوا<sup>۳</sup> استفاده کنید. در غیر این صورت فن‌های برج خنک کننده می‌بایست خاموش شوند. همچنین از دستکش ایمنی، عینک محافظ و لباس ایمنی استفاده کنید.

فعالیت  
آزمایشگاهی ۱



فیلم ۶



فیلم ۷



نکته ایمنی ۳



## ۵-۲- چیلر

یکی از نیازهای هر ساختمانی تأمین سرمایش آن در فصل تابستان است، این مهم در ساختمان‌های بزرگ با استفاده از چیلر انجام می‌گیرد. چیلرها از جمله تجهیزات بسیار مهم در سرمایش ساختمان هستند. چیلر دستگاهی است که برای خنک کاری هوا یا دستگاه‌ها استفاده می‌شود. چیلر دارای یک چرخه<sup>۴</sup> بسته است و ماده‌ای را که باعث کاهش دما می‌شود، ماده سردکننده (مبرد<sup>۵</sup>) می‌نامند. ماده مبرد در چرخه بسته چیلر حرکت می‌کند و باعث خنک‌سازی می‌شود. چیلرها در سامانه‌های تهویه مطبوع و در صنعت کاربرد مختلفی دارند. کولرهای گازی یک نوع چیلر محسوب می‌شوند.

۱- Wet Cooling Tower

۲- Dry Cooling Tower

۳- High-Efficiency Particulate Air (HEPA) Protective Mask

۴- Cycle

۵- Refrigerant

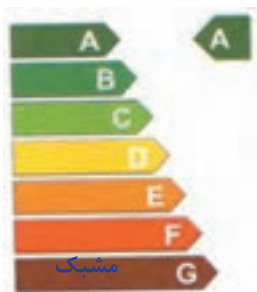


شکل ۹-۲. یک نمونه چیلر

هدف چنین دستگاهی دریافت بیشترین انرژی از محیط سرد ( $Q_L$ ) در برابر کمترین مقدار انرژی مصرفی ( $W$ ) است. شیوه عملکرد چیلرها را به وسیله عاملی به نام ضریب عملکرد ( $COP$ ) بررسی می کنند که این عامل به صورت معادله زیر تعریف می شود:

$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

کافی است واحد گرمای گرفته شده و کار انجام شده یکسان باشد، در صورتی که هر دو از جنس انرژی یا توان باشند، ضریب عملکرد نشان دهنده عملکرد دستگاه است.



از برجسب انرژی دستگاههایی مانند یخچال و کولرگازی چه می دانید؟ برجسب انرژی دستگاههایی مانند یخچال و کولرگازی چه ارتباطی با ضریب عملکرد دارد؟

پرسش ۵



تمرین:

- ۱- ضریب عملکرد یک یخچال با ظرفیت تبرید  $30000 \text{ BTU/hr}$  و توان کمپرسور  $2400$  وات چقدر است؟ برجسب انرژی این یخچال چیست؟
- ۲- ضریب عملکرد یک یخچال به ظرفیت سرمایش  $10000$  وات، برابر با  $3/5$  است. توان کمپرسور آن چقدر است؟
- ۳- توان کمپرسور یک یخچال با ضریب عملکرد ۳، برابر با  $3500$  وات است. ظرفیت سرمایش این یخچال چقدر است؟

**نکته ۱:** پس از مدتی از عملکرد چیلرها، لوله ها و مسیر عبور سیال سردکننده رسوب می گیرد. در این حالت اسیدشویی مسیرهای عبور سیال، مشکل را حل می کند.

بخش های سردسازی یخچال را بررسی کنید و درباره شیوه عملکرد و برجسب انرژی آن گزارش تهیه کنید .

فعالیت کارگاهی ۲





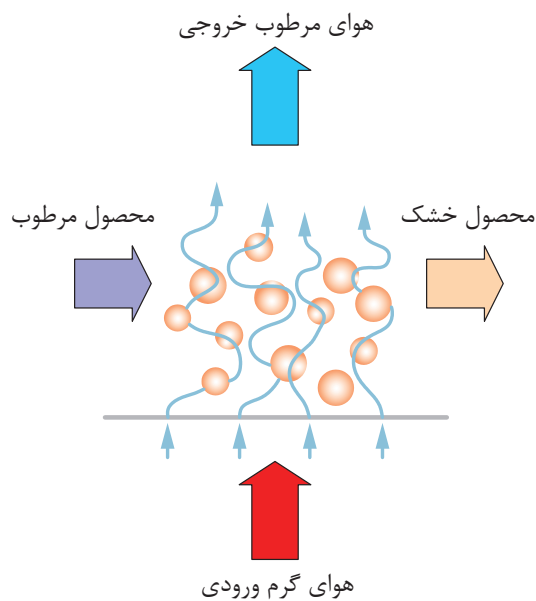
## ۲-۶- خشک‌کن‌ها



شکل ۲-۱۰- یک نمونه خشک‌کن

فرایند خشک کردن جامدات یکی از قدیمی‌ترین فعالیت‌های انسان است. خشک کردن گوشت، میوه‌ها و سبزیجات از رایج‌ترین روش‌های نگهداری مواد است که به صورت سنتی از طریق گرمای حاصل از آفتاب و هوا، یا از طریق خشک‌کن برقی انجام می‌شود (شکل ۲-۱۰). خشک کردن معمولاً آخرین مرحله یک فرایند است، مخصوصاً در حالتی که محصول برای بسته‌بندی نهایی آماده می‌شود.

خشک کردن جامد یعنی حذف آب یا مایع دیگر از ماده جامد تا حد مجاز، با استفاده از روش تبخیر. عملیات خشک کردن عموماً در حضور یک جریان گاز مانند هوا انجام می‌پذیرد که به آن گاز حامل گفته می‌شود. این جریان گاز می‌تواند به صورت هم‌سو، ناهم‌سو یا متقاطع نسبت به جامد مرطوب باشد. شکل ۲-۱۱ را مشاهده کنید.



شکل ۲-۱۱- عملیات خشک کردن با هوا

هوای گرم ورودی با تبخیر رطوبت ماده خشک‌شونده، رطوبت را با خود حمل می‌کند و میزان رطوبت ماده را کاهش می‌دهد. توجه داشته باشید که جداسازی همین مقدار رطوبت را از روش‌های مکانیکی (مثل فشردن یا سانتریفیوژ) نمی‌توان خشک کردن نامید. از اهداف تبخیر کردن می‌توان به نگهداری موادی که در مجاورت رطوبت فاسد می‌شوند، کم کردن وزن محصول برای بسته‌بندی و حمل و نقل نام برد. خشک کردن در زمینه‌های مختلفی استفاده می‌شود، مثل کاتالیزورها، بسپارها (پلیمرها)، محصولات غذایی، دارویی، کشاورزی و معدنی.

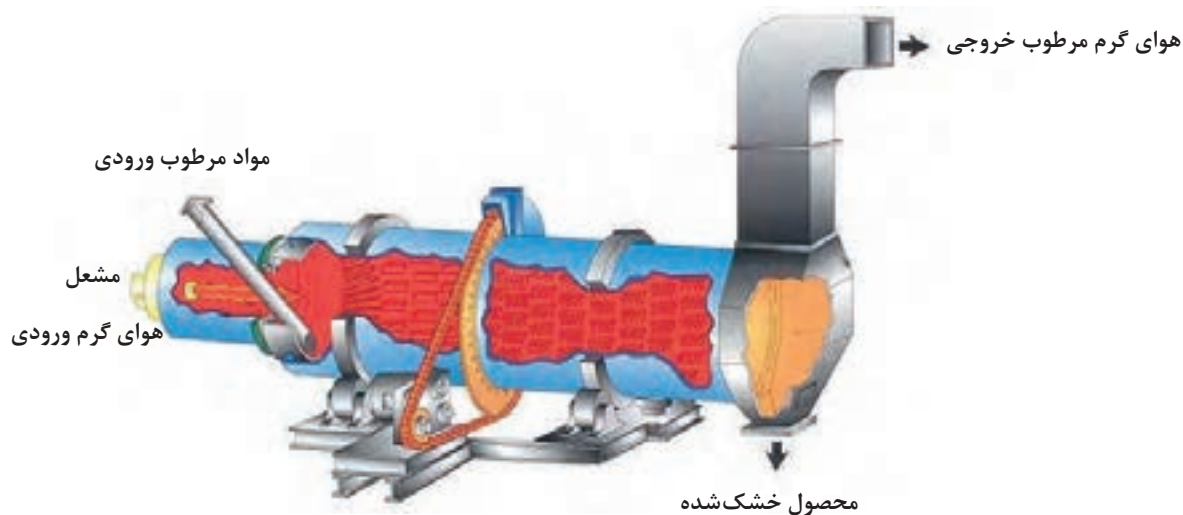
یک مثال روزمره از فرایند خشک شدن در زندگی خود بیان کنید.

پرسش ۶



## روش‌های عملکرد خشک‌کن‌ها

ماده‌ای که باید خشک شود، می‌تواند به‌صورت پیوسته یا ناپیوسته در عملیات خشک‌کردن قرار گیرد. در خشک‌کردن ناپیوسته، مقدار ماده‌ای که باید خشک شود، درون دستگاه و در مسیر جریان پیوسته از هوا قرار داده می‌شود تا رطوبت آن تبخیر شود. خشک‌کردن ناپیوسته در کارگاه‌های کوچک، واحدهای آزمایشی و کارهای تحقیقاتی استفاده می‌شود، زیرا روش نسبتاً پرهزینه‌ای است؛ اما در عملیات خشک‌کردن پیوسته، ماده خشک‌شونده و جریان هوا به‌طور پیوسته از دستگاه عبور می‌کنند.



۱۲-۲- عملکرد خشک‌کن

## متغیرهای مؤثر در خشک‌کردن

برای خشک‌کردن لباس‌های خیس، آنها را روی طناب پهن می‌کنند، چه عواملی در خشک‌شدن لباس‌های خیس مؤثر است؟

بحث کنید ۴



هنگامی که یک جامد مرطوب در مجاورت گاز حامل قرار بگیرد، جسم جامد رطوبت خود را با فرایند تبخیر از دست می‌دهد. این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که رطوبت موجود در جسم جامد با رطوبت گاز حامل به تعادل برسد. در این حالت گاز حامل و جسم جامد در حال تعادل خواهند بود و به مقدار رطوبت جسم جامد در این حالت، رطوبت تعادلی در شرایط فرایند گفته می‌شود؛ بنابراین، هر چه گاز حامل خشک‌تر باشد، رطوبت بیشتری را از جسم جامد جذب می‌کند.

از متغیرهای مهم دیگر، می‌توان به دمای گاز حامل اشاره کرد. هر چه دمای گاز حامل بیشتر باشد، میزان تبخیر رطوبت بیشتر خواهد بود. به‌عنوان مثال در صورتی که یک پارچه مرطوب را در معرض هوای گرم

قرار دهید در مقایسه با حالتی که هوا سرد باشد، مقدار رطوبت بیشتری را از دست می‌دهد. طبیعت و شکل ماده خشک‌شونده هم از مشخصه‌های مهم است. جسم جامد می‌تواند به‌صورت پودر، دانه‌های کروی، جامد کلوخه‌ای و مانند آن باشد. توجه داشته باشید که رطوبت مواد باارزشی مثل مواد دارویی را در دمای پایین و با روشی متفاوت از آن خارج می‌کنند تا ماده دارویی صدمه نبیند. زمان تماس هوا و جسم مرطوب، متغیر مهم دیگر فرایند خشک کردن است. هر چه زمان تماس بیشتر باشد، رطوبت بیشتری از ماده خشک‌شونده جذب می‌شود؛ اما به دلیل مسائل اقتصادی، این عملیات می‌بایست در زمان بهینه انجام پذیرد که از طریق آزمایش به دست می‌آید.

### روش‌های خشک کردن

از تقسیم‌بندی‌های دیگر عملیات خشک کردن، می‌توان به روش گرمادادن برای تبخیر رطوبت اشاره کرد. در صورتی که گرما از راه تماس مستقیم گاز گرم با ماده خشک‌شونده تأمین شود تا رطوبت جسم تبخیر شود، به آن خشک کردن مستقیم گفته می‌شود؛ اما در خشک کردن‌های غیرمستقیم، گرما به‌وسیله منبع گرمایی غیر از گاز حامل به ماده خشک‌شونده اعمال می‌شود؛ به‌عنوان مثال، گرما ممکن است از روش رسانایی از دیواره فلزی یا از طریق تابش پرتو مادون قرمز به ماده منتقل شود.

### انواع خشک‌کن‌های صنعتی

ساختار خشک‌کن‌های صنعتی تا حد زیادی به طبیعت ماده خشک‌شونده بستگی دارد. از انواع خشک‌کن‌های صنعتی می‌توان به خشک‌کن‌های کابینتی، خشک‌کن‌های تونلی و خشک‌کن‌هایی با جریان سراسری اشاره کرد.

### الف) خشک‌کن‌های کابینتی

جامدهایی که باید روی سینی نگه‌داری شوند، مانند مواد خمیری، جامدات کلوخه‌ای که باید روی سینی پخش شوند، درون اتاقکی حاوی سینی‌های متحرک قرار داده می‌شود. پس از بارگیری سینی‌ها، اتاقک بسته می‌شود و هوای گرم از بین سینی‌ها دمیده می‌شود تا رطوبت را از جامد خارج سازد. اگر مایع تبخیرشونده قابل سوختن باشد یا جامد در اثر تماس با اکسیژن دچار تغییر شود، از گازهای بی‌اثر به جای هوا استفاده می‌شود. خشک‌کن کابینتی (قفسه‌ای) در شکل ۱۳-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۲- دستگاه خشک‌کن کابینتی (قفسه‌ای)



عملیات در خشک‌کن کابینتی پیوسته است یا ناپیوسته؟ مستقیم است یا غیر مستقیم؟ دلیل خود را بیان کنید.

شکل ۱۳-۲ دستگاه خشک‌کن کابینتی است. که ماکارونی‌های شکل‌دار درون سینی‌ها قرار داده می‌شود. در این نوع خشک‌کن‌ها، هوای گرم با پنکه در اتاقک خشک‌کن جریان می‌یابد و از روی مواد مرطوب عبور می‌کند. بیشترین ظرفیت خشک کردن چنین خشک‌کنی برای میوه‌ها و سبزیجات می‌تواند تا حدود ۲۰ تن در روز باشد. مدت زمان لازم برای خشک کردن در این نوع خشک‌کن ممکن است به ۲۰ ساعت هم برسد. نگهداری و کار با این خشک‌کن‌ها ساده است و از نظر تولید مواد مختلف بسیار انعطاف‌پذیر هستند. عیب خشک‌کن‌های کابینتی این است که کنترل عملیات خشک کردن از نظر تولید محصولی با کیفیت مناسب و ثابت به خوبی میسر نیست.



فیلم خشک‌کن کابینتی را مشاهده کنید و در مورد شیوه عملکرد آن بحث کنید.

یک جامد خمیری شکل را درون دستگاه اون که نوعی خشک‌کن کابینتی است قرار دهید و مدت زمان لازم برای خشک شدن آن را در دماهای  $50^{\circ}\text{C}$ ،  $70^{\circ}\text{C}$  و  $90^{\circ}\text{C}$  به دست آورید. از این فعالیت چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



هنگام کار کردن با اون، از دست‌کش عایق گرما استفاده کنید.



## خشک‌کن‌های تونلی

در این نوع دستگاه، جامدهای مرطوب روی نوار نقاله یا سینی‌هایی قرار داده می‌شود که در واگن‌هایی تعبیه شده‌اند، و از درون تونلی که دارای دمای بالا یا دارای جریان هوای گرم است، عبور می‌کند. واگن‌ها می‌توانند بیرون از خشک‌کن بارگیری و به داخل و خارج تونل خشک‌کن حرکت داده شوند. زمان اقامت واگن‌ها باید آنقدر باشد که رطوبت جسم به مقدار مطلوب برسد. تخلیه واگن‌ها پس از خشک شدن و بیرون از تونل انجام می‌پذیرد؛ بنابراین، اتلاف زمانی بین چرخه‌های خشک‌کن وجود ندارد.

سمت و سوی حرکت هوا نسبت به حرکت ماده جامد ممکن است هم‌سو و یا ناهم‌سو باشد. هم‌سو بودن حرکت هوا این مزیت را دارد که هوا با بالاترین دما با ماده‌ای تماس پیدا می‌کند که دارای بیشترین رطوبت است. این شکل توزیع و استفاده از گرما عمل خشک کردن را به شیوه مؤثرتری انجام می‌دهد و از طرفی هوای خروجی به میزان قابل توجهی سرد شده است. در صورتی که جهت حرکت هوا مخالف جهت حرکت ماده مرطوب باشد، هوای داغ در ابتدا با ماده‌ای که به میزان زیاد خشک شده است در تماس قرار می‌گیرد و بنابراین ماده بسیار خشکی به دست می‌آید.

بر اساس طبیعت و ساختار ماده خشک‌شونده، ممکن است به جای واگن سینی دار، الیاف را از میله‌هایی آویزان کنند و یا چوب و الوار را روی یکدیگر انباشته کنند تا لایه‌های مختلف با قطعات فاصله‌دهنده از هم جدا شوند. از این نوع خشک‌کن‌ها می‌توان برای بلورها، خمیرها و سفال‌ها استفاده کرد. شکل ۱۴-۲ یک خشک‌کن تونلی واگن‌دار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۲- دستگاه خشک‌کن تونلی واگن‌دار

عملیات در خشک‌کن تونلی شکل ۱۵-۲ پیوسته است یا ناپیوسته؟ مستقیم است یا غیرمستقیم؟

پرسش ۸



شکل ۱۵-۲- دستگاه خشک‌کن تونلی دارای نوار نقاله

آنچه در شکل ۱۵-۲ مشاهده می‌شود نیز نوعی خشک‌کن تونلی است که گرمای لازم از جریان برق (المنت‌های گرمایی) تأمین می‌شود. همان‌گونه که در شکل مشخص است، این نوع خشک‌کن‌ها می‌توانند یک یا چندین بستر متفاوت داشته باشند و دمای هر بستر را می‌توان به صورت مجزا و از طریق تجهیزات کنترلی تنظیم کرد.

نکته ایمنی ۵



- ۱- هنگام کار کردن با خشک‌کن‌ها مواظب سطوح داغ باشید. از دستکش‌های محافظ استفاده کنید؛
- ۲- در صورتی که رطوبت تبخیرشده سمی و یا مضر است، از ماسک استفاده کنید؛
- ۳- در صورتی که بخارهای موجود در خشک‌کن موجب صدمه به چشم می‌شود، از عینک‌های محافظ استفاده کنید.

نکته زیست محیطی ۲



یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی در خشک‌کن‌ها، سوخت برای تأمین گرمای لازم است. بهترین سوخت برای جلوگیری از ایجاد آلودگی، گاز تصفیه‌شده شهری یا گازوئیل و نفت سفید استاندارد است. در صورتی که گاز خروجی از خشک‌کن دارای ترکیبات سمی و مضر باشد، آن را به صورت فیزیکی و شیمیایی خنثی کنید و مواد مضر را به شیوه‌ای ایمن که برای محیط‌زیست خطر نداشته باشد، دفع کنید.

بازدید ۱

از یک شرکت تولیدکننده مواد غذایی بازدید کنید و در رابطه با خشک‌کن‌های آن گزارش تهیه کنید. آیا نکات ایمنی در شرکت تولیدی بازدید شده رعایت می‌شود؟ آیا فرایندهای شرکت تولیدی بازدیدشده برای محیط‌زیست خطری دارد؟ برای حل آن راهکار ارائه دهید.

## ارزشیابی شایستگی پودمان دستگاه‌های حرارتی

<p><b>شرح کار:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد؛</li> <li>● هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند؛</li> <li>● پس از انجام دادن کار، وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.</li> </ul>			
<p><b>استاندارد عملکرد:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● کار با مبدل حرارتی، برج خنک کننده و خشک کن‌ها مطابق دستور کار</li> </ul>			
<p><b>شاخص‌ها:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● رعایت مسایل ایمنی در هنگام انجام دادن کار؛</li> <li>● انجام دادن کار طبق دستور کار.</li> </ul>			
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b>  <b>مکان:</b> کارگاه و آزمایشگاه      <b>زمان:</b> یک جلسه آموزشی  <b>ابزار و تجهیزات:</b> وسایل ایمنی شخصی، مبدل‌های حرارتی، برج خنک کننده، خشک کن.</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
<b>ردیف</b>	<b>مرحله کار</b>	<b>کمترین نمره قبولی از ۳</b>	<b>نمره هنرجو</b>
۱	کار با مبدل‌های حرارتی	۲	
۲	کار با برج‌های خنک کننده	۱	
۳	کار با خشک کن‌ها	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: صرفه جویی در آب مصرفی مبدل‌ها؛ ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۵- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
	<b>میانگین نمرات</b>		*

\* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.





## پودمان ۲

### دستگاه‌های حرارتی



در صنایع شیمیایی، همه فرایندها در دمای محیط انجام نمی‌شوند. هنگامی که در بخشی از فرایندها دما بالاتر یا پایین‌تر از محیط است، استفاده از دستگاه‌های حرارتی و آگاهی از طرز عملکرد آنها لازم است.

## واحد یادگیری ۲: دستگاه‌های حرارتی

### مقدمه

در صنایع شیمیایی، دستگاه‌های حرارتی برای انتقال گرما استفاده می‌شوند. کاربرد هر یک از این دستگاه‌ها به هدف انتقال حرارت بستگی دارد؛ به‌عنوان مثال، هنگامی که هدف، انتقال حرارت بین دو سیال مهم باشد، از مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود. اگر هدف از انتقال حرارت، فقط خنک کردن آب باشد، کافی است از برج‌های خنک‌کننده استفاده شود تا آب گرم، خنک شود و اگر تبخیر رطوبت یک ماده، هدف باشد، از خشک‌کن‌ها استفاده می‌شود تا از طریق انتقال گرما، رطوبت ماده خارج شود. در این بخش انواع دستگاه‌های حرارتی، مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها معرفی می‌شوند. روش عملکرد، اصول حاکم بر هر یک از این دستگاه‌ها و انواع آن معرفی خواهد شد و با انجام دادن آزمایش و بازدیدهای علمی، طرز عملکرد هر یک را بهتر درک خواهید کرد.

### استاندارد عملکرد

کار با مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها مطابق با دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی:

- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی، انجام دادن کارها و وظایف محوله؛
- ۴- مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛
- ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

- ۱- کار با مبدل‌های حرارتی؛
- ۲- کار با برج‌های خنک‌کننده؛
- ۳- کار با خشک‌کن‌ها.

## ۲-۱- انتقال حرارت

بحث کنید ۱



به نظر شما آتش چگونه دست ما را گرم می‌کند؟

در بیشتر کارخانه‌های صنایع شیمیایی اعم از پالایشگاه‌های نفت، گاز و پتروشیمی تبادل گرما از جریان یا مواد اصلی فرایند اجتناب‌ناپذیر است. این تبادل گرما ممکن است با یک سیال دیگر فرایند، آب، بخار آب، هوا و یا مانند آن صورت گیرد تا دمای آن افزایش یا کاهش یابد. رادیاتور موتور خودرو که آب در گردش داخل موتور را با جریان هوا خنک می‌کند، یا شوفاژها و سامانه‌های تهویه از انواع دستگاه‌های حرارتی هستند.

نیروی محرکه انتقال گرما، اختلاف دما است. به این معنی که تا زمانی که اختلاف دمایی بین دو جسم نباشد، انتقال گرمایی صورت نمی‌گیرد؛ به‌طور کلی سه روش برای انتقال حرارت وجود دارد که عبارت‌اند از: رسانایی<sup>۱</sup>، جابه‌جایی<sup>۲</sup> و تشعشع<sup>۳</sup> (تابش). روش انتقال حرارت رسانایی به تبادل گرما از درون یک جسم جامد گفته می‌شود، که از طریق جنبش مولکول‌ها و الکترون‌ها صورت می‌پذیرد. وقتی جسم گرم می‌شود، سرعت مولکول‌های آن به‌سرعت افزایش می‌یابد؛ لذا مولکول‌ها با انرژی بالا به مولکول‌های نزدیک برخورد می‌کنند و آنها را به حرکت وا می‌دارند. بدین ترتیب انرژی گرمایی منتقل می‌شود. وقتی دست خود را با شوفاژ تماس می‌دهیم، انتقال گرمای رسانایی باعث گرم شدن دست ما می‌شود. انتقال گرمای جابه‌جایی به تبادل حرارتی از طریق حرکت سیال‌ها (مایع و گاز) اطلاق می‌شود، خنک شدن بدن از طریق هوای کولر و گرم شدن بدن از طریق هوای بخاری خودرو از نمونه‌های انتقال حرارت جابه‌جایی است. انتقال حرارت به‌روش تشعشع زمانی کاربرد دارد که اختلاف دمای دو سطح بسیار زیاد است، به‌عنوان مثال هنگامی که نزدیک شعله‌های آتش باشیم، تابش زبانه‌های آتش باعث گرم شدن ما می‌شود.

۱- Conduction  
۲- Convection  
۳- Radiation



فیلم روش‌های انتقال حرارت را مشاهده کنید و در مورد روش‌های استفاده شده برای انتقال گرما با هم کلاسی‌های خود بحث کنید.

دستگاه‌های حرارتی با توجه به هدف از تبادل گرما، نوع سیال‌های تبادل‌دهنده، حرارت و میزان تبادل گرمای سیال، انواع مختلفی دارند و به صورت زیر نام‌گذاری می‌شوند:

جدول ۱-۲. نام‌گذاری دستگاه‌های حرارتی بر اساس سیال‌های تبادل‌دهنده و هدف از تبادل

نام رایج در صنعت	هدف	سیال‌های تبادل‌دهنده	دسته‌بندی
Process to Process Heat Exchanger	کاهش دمای یک جریان و افزایش دمای جریان دیگر	دو جریان فرایندی <sup>۲</sup>	مبدل حرارتی <sup>۱</sup>
Water Cooler	سرد کردن جریان فرایندی	جریان فرایندی - آب	
Steam Heater	گرم کردن جریان فرایندی	جریان فرایندی - بخار	
Air Cooler	سرد کردن جریان فرایندی	جریان فرایندی - هوا	کولر هوایی
Fired Heater	گرم کردن جریان فرایندی به میزان بیشتر نسبت به گرم‌کننده	جریان فرایندی - گاز حاصل از سوختن	کوره
Cooling Tower	سرد کردن آب برای استفاده در خنک‌کننده آبی	آب - هوا	برج خنک‌کننده
Dryer	خشک کردن رطوبت جامد	جامد مرطوب - هوا	خشک‌کن
Boiler	تولید بخار برای استفاده در گرم‌کننده	آب - گاز به دست آمده از سوختن	دیگ بخار

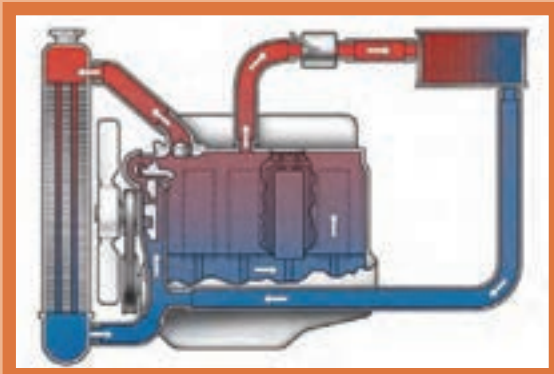
روش‌های انتقال حرارت رسانایی و جابه‌جایی در همه دستگاه‌های حرارتی فوق کاربرد دارند، در حالی که روش تابش تنها در کوره‌ها و دیگ بخار استفاده می‌شود.

۱. Heat Exchanger

۲. جریان مایع یا گاز موجود در یک کارخانه را جریان فرایندی می‌گویند.

## ۲-۲- مبدل‌های حرارتی

شیوه عملکرد شوفاژها و رادیاتور ماشین را مقایسه کنید و شرح دهید؟



بحث کنید ۲



مبدل‌های حرارتی به آن دسته از دستگاه‌های حرارتی گفته می‌شود که در آنها تبادل حرارت بدون تماس مستقیم بین دو سیال فرایندی، آب و یا بخار از طریق رسانایی دیواره لوله‌ها و نیز انتقال حرارت از نوع جابه‌جایی سیال صورت می‌گیرد. گرما از سیال گرم به دیواره لوله‌ها و سپس به سیال سرد منتقل می‌شود.

### انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس نوع جریان

فیلم مبدل‌های دو لوله‌ای را ببینید و به هم‌سو و ناهم‌سو بودن جریان‌ها توجه کنید. کدام یک کارایی و بازدهی بیشتری دارد؟

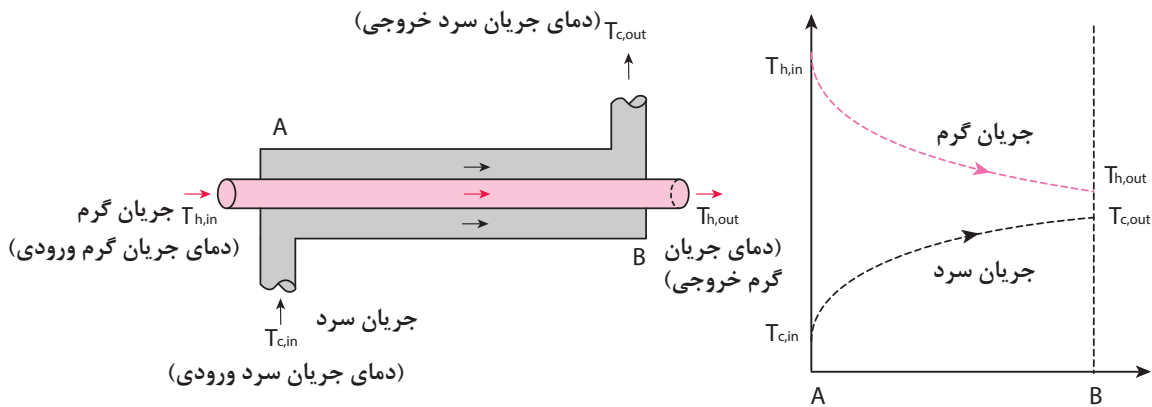
فیلم ۲



در مبدل‌های حرارتی شیوه عبور جریان سرد و گرم یکی از مشخصه‌های مهم است که در میزان اختلاف دما (به‌عنوان نیروی محرکه تبادل حرارت) تأثیر دارد و به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

### جریان هم‌سو<sup>۱</sup>

در مبدل‌ها با جریان هم‌سو، جریان سرد و گرم از یک سو وارد مبدل شده و هر دو از سمت دیگر خارج می‌شوند (شکل ۲-۱).

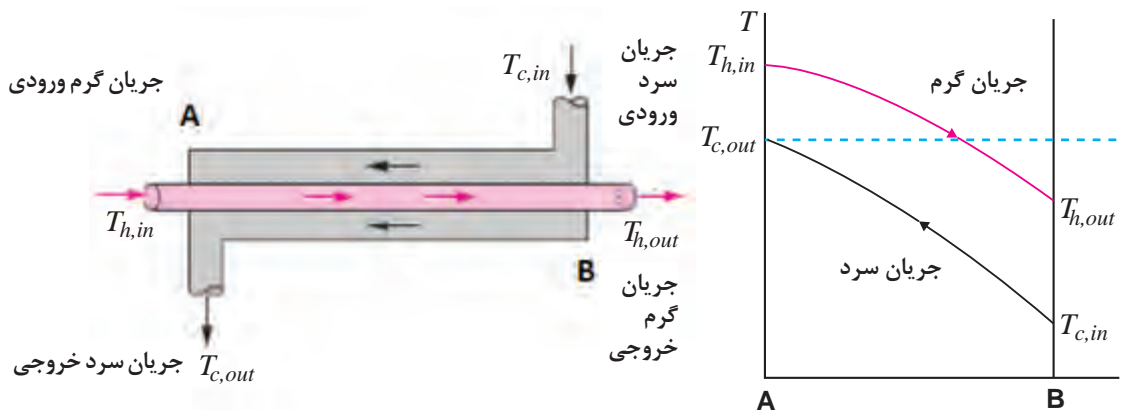


شکل ۲-۱- جریان هم‌سو در مبدل‌ها و شیوه تغییرات دما

در این حالت اختلاف دما در امتداد مبدل کاهش می‌یابد و در نتیجه از شدت انتقال گرما به مرور کاسته می‌شود و برای هم‌دما شدن دو سیال، به میزان بی‌نهایت سطح انتقال حرارت نیاز است. این نوع جریان بازدهی کمی نسبت به سطح انتقال حرارت دارد.

### جریان ناهم‌سو<sup>۱</sup>

در مبدل‌ها با جریان ناهم‌سو، جریان گرم و سرد از دو سمت مخالف وارد می‌شوند (شکل ۲-۲).

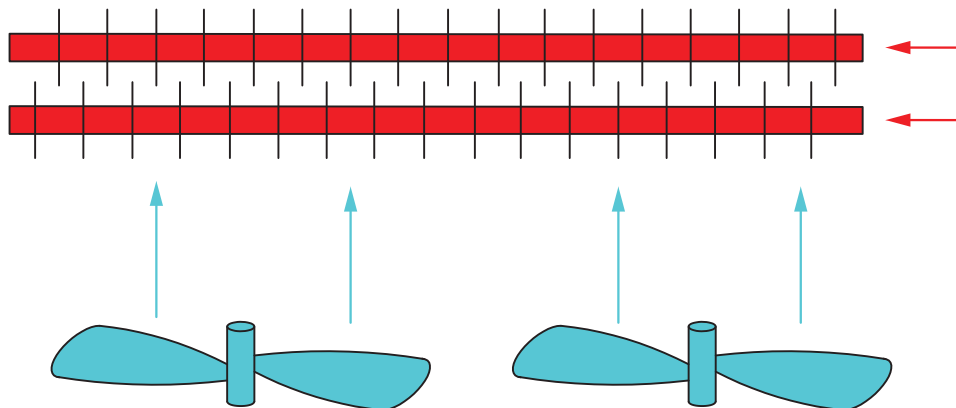


شکل ۲-۲- جریان ناهم‌سو در مبدل‌ها و تغییرات دما در طول مبدل

در جریان‌های متقابل یا ناهم‌سو، اختلاف دمای دو سیال در امتداد مبدل تقریباً ثابت است و انتقال حرارت به‌خوبی صورت می‌پذیرد. این نوع جریان به‌علت بازدهی بالاتر نسبت به سطح انتقال حرارت کاربرد وسیع‌تری دارد.

### جریان متقاطع<sup>۱</sup>

در این حالت جریان‌های سرد و گرم به صورت متقاطع از کنار یکدیگر عبور می‌کنند، که در کولرهای هوایی اتفاق می‌افتد (شکل ۲-۳).



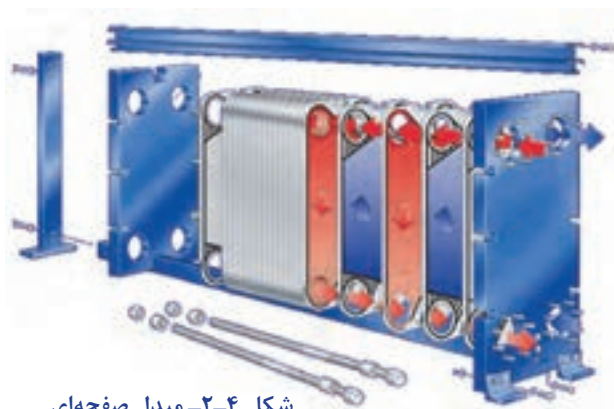
شکل ۲-۳- جریان متقاطع در کولرهای هوایی

### ۲-۳- انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس ساختمان آنها

مبدل‌های حرارتی بر اساس ساختمان، به سه دسته مبدل‌های صفحه‌ای<sup>۲</sup> و مبدل‌ها با سطوح پره‌دار<sup>۳</sup> و مبدل‌های لوله‌ای<sup>۴</sup>، تقسیم‌بندی می‌شوند.

#### مبدل‌های صفحه‌ای

این مبدل‌ها از صفحات نازک با سطوح چین‌دار تشکیل شده‌اند (شکل ۲-۴) که سیال‌های سرد و گرم را از یکدیگر جدا می‌سازند. صفحه‌ها با استفاده از واشر، جوش یا لحیم به یکدیگر متصل می‌شوند تا از نشت سیال جلوگیری شود.



شکل ۲-۴- مبدل صفحه‌ای

- ۱- Cross Flow
- ۲- Plate and Frame Heat Exchanger
- ۳- Finned Surfaces Heat Exchanger
- ۴- Tubular Heat Exchanger

## مبدل‌های صفحه‌ای از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

۱- صفحه ثابت؛ ۲- صفحه‌های انتقال حرارت؛ ۳- صفحه متحرک؛ ۴- تکیه‌گاه؛ ۵- میله حامل؛ ۶- پیچ محکم‌کننده.

در این مبدل‌ها نسبت سطح انتقال حرارت به حجم مبدل زیاد است، و به همین دلیل در زمان کوتاهی انتقال حرارت انجام می‌شود. مبدل صفحه‌ای سبک‌ترین نوع مبدل است و معمولاً برای انتقال گرما بین گاز- مایع یا جریان‌های دو فازی استفاده می‌شود؛ اما فشار و دمای عملیاتی آن کم است و برای سیالات خطرناک و عملیات در شرایط خلأ مناسب نیست.

فیلم مبدل‌های صفحه‌ای را ببینید و در مورد شیوه عملکرد آن بحث کنید.

فیلم ۳



## مبدل‌ها با سطوح پره‌دار



شکل ۲-۵- لوله‌های پره‌دار استفاده شده در مبدل‌ها با سطوح پره‌دار

در این نوع مبدل‌ها سطح صفحه یا لوله دارای پره (یا فین) است. با توجه به اینکه ضریب انتقال حرارت در سمت گاز از سمت مایع کوچک‌تر است، با نصب پره‌ها در سمت گاز و ایجاد اغتشاش در آن، ضریب انتقال حرارت و در نتیجه میزان تبادل گرما افزایش می‌یابد. در شکل ۲-۵ لوله‌های پره‌دار نشان داده شده است.

پره‌ها (فین‌ها) به صورت‌های طولی، عمود بر لوله یا مارپیچ روی لوله قرار دارند. از این لوله‌های پره‌دار، عمدتاً در کولرهای هوایی استفاده می‌شود.

## مبدل‌های لوله‌ای

فیلم مبدل‌های دو لوله‌ای را ببینید و به هم‌سو و ناهم‌سو بودن جریان‌ها توجه کنید. کدام یک کارایی و بازدهی بیشتری دارد؟

فیلم ۴



مبدل‌های لوله‌ای از رایج‌ترین مبدل‌های حرارتی هستند، که نوع دو لوله‌ای<sup>۱</sup> و پوسته - لوله‌ای<sup>۲</sup> آن پرکاربردترین است. در نوع دو لوله‌ای، یک لوله در داخل لوله‌ای با قطر بزرگتر قرار می‌گیرد. در مبدل‌های پوسته - لوله‌ای یک دسته لوله داخل پوسته قرار می‌گیرد. در این مبدل‌ها سیال‌های سرد یا گرم از یک سمت وارد لوله و از سمت دیگر آن خارج می‌شود. سیال دوم به لوله بزرگ‌تر و یا پوسته وارد می‌شود و پس از تبادل گرما از سمت دیگر خارج می‌شوند.

۱- Double Pipe Heat Exchanger

۲- Shell and Tube Heat Exchanger

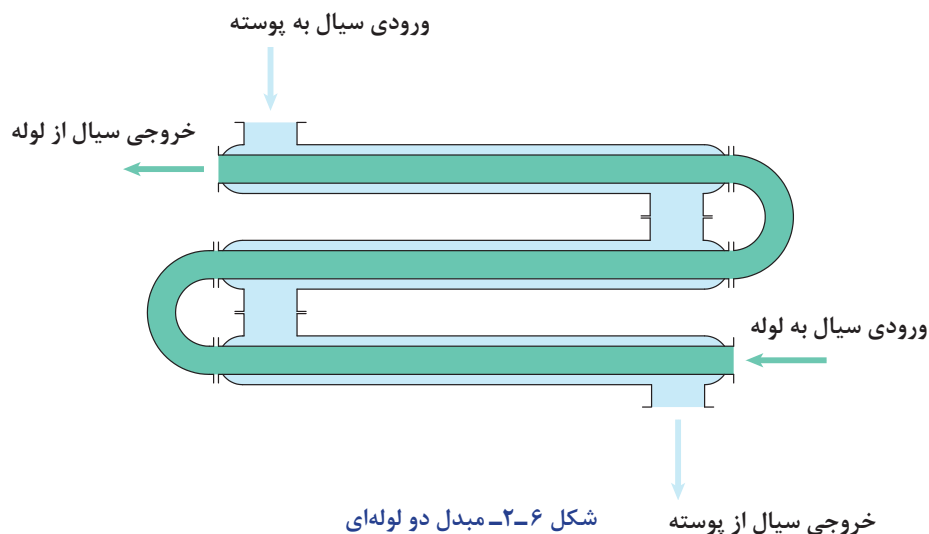


## مبدل حرارتی دو لوله‌ای

این مبدل‌ها از دو لوله هم محور تشکیل شده است (شکل ۶-۲). کاربرد این تجهیز حرارتی هنگامی است که سطح انتقال گرما کوچک باشد و یا جریان یکی از دو سیال کم یا گران‌روی آن زیاد باشد.

در شکل ۶-۲ جریان‌ها به صورت هم‌سو، ناهم‌سو و یا متقاطع است؟ هر یک در کدام بخش اتفاق می‌افتد.

فکر کنید ۱



شکل ۶-۲- مبدل دو لوله‌ای

به تعداد تماس سیال سرد و گرم، گذر<sup>۱</sup> گفته می‌شود؛ به عنوان مثال در شکل ۶-۲ مبدل دارای سه گذر است.

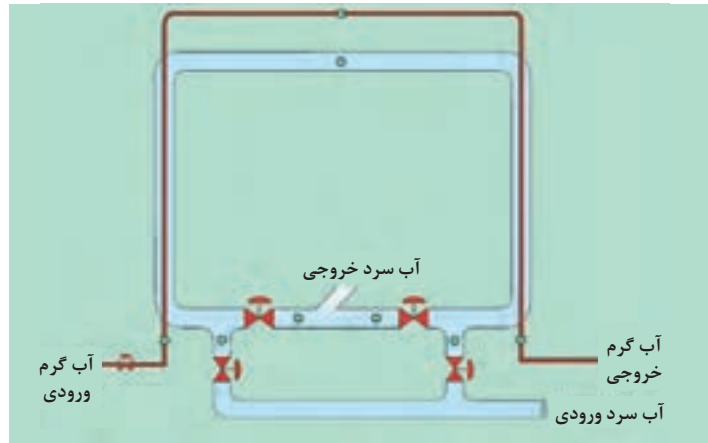
در این فعالیت عملکرد مبدل حرارتی دو لوله‌ای را بررسی کنید.

### وسایل لازم:

- ۱- لوله ۰/۲۵ اینچی برای عبور آب گرم؛
- ۲- لوله ۰/۷۵ اینچی برای عبور آب سرد؛
- ۳- مخزن ذخیره آب گرم؛
- ۴- پمپ انتقال آب؛
- ۵- عدد شیر برای بستن یا باز کردن مسیرهای آب گرم و سرد؛
- ۶- عدد دماسنج؛
- ۷- عایق برای عایق‌بندی لوله‌های آب سرد و گرم.

فعالیت کارگاهی ۱





آزمایش مبدل حرارتی دولوله‌ای - U - شکل

- ۱- هنگام کار کردن با منبع سیال گرم با دمای بالا و استفاده از سطوح داغ، از دست‌کش‌های عایق گرما استفاده کنید.
- ۲- هنگام کار با دستگاه دقت کنید تا آب داخل مخزن کاملاً خالی نشود.

نکته ایمنی ۱



### مراحل فعالیت کارگاهی:

- ۱- آب گرم درون مخزن را تا دمای ۷۰ درجه سلسیوس گرم کنید؛
- ۲- پمپ انتقال آب را روشن کنید؛
- ۳- شیرهای آب سرد را باز کنید تا آب سرد به صورت هم‌سو با آب گرم در لوله بیرونی جریان یابد؛
- ۴- دمای نقاط مختلف را در جدول صفحه بعد یادداشت کنید. متوجه خواهید شد که پس از مدتی دمای نقاط به ثبات رسیده‌اند. در این هنگام، مبدل حرارتی به حالت پایداری رسیده است و مرحله اول آزمایش در این زمان به پایان رسیده است.
- ۵- شیرهای آب سرد را به گونه‌ای باز کنید تا به صورت ناهم‌سو با جریان آب گرم حرکت کند و دوباره دمای نقاط را در زمان‌های متناظر با حالت هم‌سو، تا زمان رسیدن به حالت پایا یادداشت کنید؛
- ۶- دمای نقاط متناظر در حالت جریان هم‌سو و جریان ناهم‌سو را با هم مقایسه و نتیجه‌گیری کنید؛
- ۷- نمودار دمایی پایدار آب سرد و گرم در دو حالت آزمایش را ترسیم کنید.

با توجه به کمبود منابع آب در کشور، آب خروجی از مبدل (آب سرد و آب گرم) به مخزن ذخیره آب هدایت شود.

نکته ۱



۱: در این آزمایش مقدار جریان و دمای آب سرد و گرم ورودی در هر دو حالت می‌بایست یکسان باشد. علت چیست؟

پرسش ۱



۲: در صورتی که مخزن آب در حال کار خالی شود، چه مشکلی می‌تواند ایجاد کند؟

جدول ثبت نتایج:

		...	...	...	۶۰	۳۰	هم‌سو	زمان (دقیقه)
							هم‌سو	دمای آب سرد ورودی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب سرد میانی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب سرد خروجی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم ورودی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم میانی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم خروجی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	

## مبدل حرارتی پوسته - لوله

مبدل‌های پوسته - لوله (شکل ۷-۲)، کاربرد بسیار وسیعی در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و صنایع غذایی دارند. این نوع مبدل از پوسته<sup>۱</sup>، دسته لوله<sup>۲</sup>، کله‌گی جلو<sup>۳</sup> و کله‌گی عقب<sup>۴</sup> تشکیل شده است. به محل ورود و خروج جریان‌ها نازل<sup>۵</sup> می‌گویند. دسته لوله‌ها با استفاده از صفحه لوله<sup>۶</sup> در ابتدا و انتهای آن ثابت شده است، و برای ثابت نگه داشته‌شدن لوله‌ها و همچنین ایجاد اغتشاش در جریان سمت پوسته، از تیغه (بافل<sup>۷</sup>) استفاده می‌شود.



شکل ۷-۲- مبدل پوسته - لوله

فیلم مبدل‌های پوسته-لوله‌ای را ببینید و در مورد اجزای تشکیل‌دهنده آن بحث کنید.

فیلم ۵



در آزمایشی مشابه فعالیت کارگاهی مبدل حرارتی دولوله‌ای، عملکرد مبدل حرارتی پوسته-لوله را بررسی کنید.

فعالیت

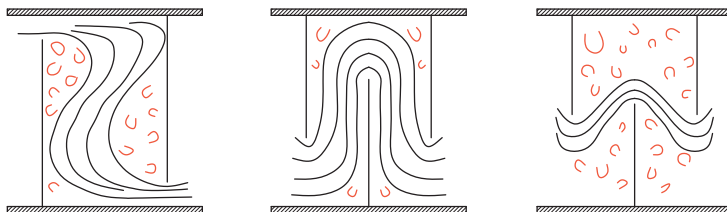
کارگاهی ۲



پرسش ۲



در کدام شکل، اندازه و طراحی تیغه مناسب است؟ دلیل خود را بیان کنید.



۱- در صورتی که یک سیال سمی یا دارای خوردگی بالا باشد، می‌بایست از درون لوله‌ها جریان یابد؛ زیرا تعویض و تمیز کردن لوله‌ها به راحتی انجام می‌شود.

۲- در صورتی که جریان درون پوسته دارای دمای بالاتر از ۶۰ درجه سلسیوس باشد، پوسته مبدل می‌بایست عایق‌بندی شود.

۳- همه اتصالات می‌بایست به خوبی بسته شوند تا از نشت سیال به بیرون جلوگیری شود.

نکته‌ایمنی ۲



۱- Shell

۲- Tube Bundle

۳- Front End Head

۴- Rear End Head

۵- Nozzle

۶- Tube sheet

۷- Baffle

## ۴-۲- برج‌های خنک‌کننده<sup>۱</sup>



شکل ۸-۲- برج خنک‌کن

در بیشتر کارخانه‌های کوچک و بزرگ، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین دستگاه‌ها، انواع برج‌های خنک‌کننده است. برج‌های خنک‌کننده علاوه بر آب به منظور خنک کردن سیالات دیگر استفاده می‌شود.

برج‌های خنک‌کننده و چیلرها جهت خنک‌سازی آب استفاده می‌شوند. در برج‌های خنک‌کننده گرمای اضافی آب را به وسیله هوا و تبخیر آب، حذف می‌کنند تا گرمای ایجادشده در فرایند را دفع کنند (شکل ۸-۲). برج خنک‌کننده یا برج خنک‌کن برای کاهش دمای آب در فرایندهای سردسازی سامانه‌های تهویه مطبوع، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و دیگر واحدهای صنعتی استفاده می‌شود.

در تمام کارخانه‌ها تعداد زیادی دستگاه مبدل حرارتی وجود دارد که در بیشتر آنها آب عامل سردکنندگی است. علت چیست؟

پرسش ۲



فرض کنید در یک واحد صنعتی، مبدلی جهت سرمایش جریان فرایندی استفاده می‌شود. در این مبدل آب مصرفی از دمای ۳۰ درجه سلسیوس به ۴۰ درجه سلسیوس می‌رسد. آب مصرفی برای سرد کردن جریان، می‌تواند از دریا فراهم شود، در این صورت آب با دمای ۴۰ درجه سلسیوس به دریا هدایت می‌شود.

دمای آب ورودی به دریا و رودخانه نباید از حد مجاز که از سوی سازمان محیط زیست اعلام می‌شود بیشتر باشد، زیرا موجب تغییر در محیط اطراف آن و صدمه به آبزیان می‌شود.

نکته زیست محیطی ۱



اما اگر واحد صنعتی در شهرهای غیر ساحلی قرار گرفته باشد، می‌بایست از آب به صورت گردش استفاده کرد تا از اتلاف آب جلوگیری شود. در این صورت، هنگامی که دمای آب از ۳۰ درجه سلسیوس به ۴۰ درجه سلسیوس رسید، برای خنک کردن دوباره مناسب نیست و باید آن را برای استفاده دوباره به دمای ۳۰ درجه سلسیوس رساند.



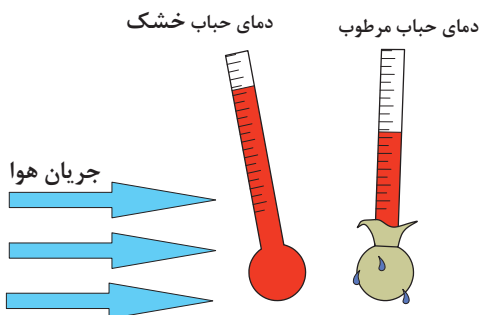
چرا در مثال بالا آب با دمای ۴۰ درجهٔ سلسیوس برای خنک‌سازی جریان فرایندی مناسب نیست؟

برج‌های خنک‌کننده دارای اندازه‌های مختلفی هستند، که از برج‌های نصب‌شده بر روی بام ساختمان‌ها تا سازه‌های هذلولی شکل که ارتفاع آن ممکن است به ۲۰۰ متر و قطر ۱۰۰ متر برسد، متغیر است. در رابطه با برج‌های خنک‌کننده، تقسیم‌بندی‌های مختلفی می‌توان انجام داد. سه مشخصهٔ مهم در برج‌های خنک‌کن عبارت‌اند از:

- ۱- روش انتقال گرما: تماس بین آب و هوا می‌تواند به صورت مستقیم یا غیر مستقیم انجام بگیرد.
- ۲- شیوهٔ گردش هوا: هوا می‌تواند به صورت طبیعی و یا به صورت مکانیکی (به وسیله پمپ یا فن) انجام شود.
- ۳- شیوهٔ حرکت هوا نسبت به جریان آب (جریان هم‌جهت، جریان متقابل و جریان متقاطع).

### دمای حباب خشک<sup>۱</sup> و دمای حباب مرطوب<sup>۲</sup>

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های تأثیرگذار در عملکرد برج خنک‌کننده، دمای حباب مرطوب و دمای حباب خشک هوا است. دمای حباب خشک هوا دمایی است که با یک دماسنج که به‌طور مستقیم در معرض هوا و به دور از رطوبت و تابش مستقیم قرار گرفته باشد، اندازه‌گیری شود.



دمای هوا را که دماسنج (که حباب آن توسط یک پارچهٔ خیس پوشانده شده است و با محیط اطراف خود در تماس است) نشان می‌دهد، دمای حباب مرطوب می‌نامند. این دما کمتر از دمای هوای خشک است. این دما در سامانه‌های تبخیری و برج خنک‌کننده تعیین‌کننده است و کمترین دمایی است که در این سامانه‌ها قابل دسترس هست. دمای هوای مرطوب بستگی به رطوبت نسبی هوا، دمای خشک، ارتفاع و فشار هوا دارد.

آیا در رطوبت نسبی ۱۰۰، دمای حباب خشک و دمای حباب مرطوب با هم تفاوتی دارند؟ چرا؟ با هم‌گروهی‌های خود بحث کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

بحث کنید ۳



به چه دلیل در صنعت، دمای حباب خشک و مرطوب هوا اهمیت دارد.

تحقیق کنید ۱



۱- Dry-bulb Temperature

۲- Wet-bulb Temperature

دمای حباب مرطوب و دمای حباب خشک هوای محیط را در آزمایشگاه و فضای آزاد اندازه گیری کنید و نتیجه را ارائه دهید

با توجه به روش انتقال گرما، برج‌های خنک کننده به انواع برج خنک کننده<sup>۱</sup> مرطوب<sup>۱</sup> و برج خنک کننده خشک<sup>۲</sup> تقسیم بندی می شود:

فیلم مربوط به برج خنک کن مرطوب را مشاهده کنید و درباره شیوه عملکرد آن با هم گروهی های خود بحث کنید و گزارش خود را درباره بخش های مختلف آن، متقابل و متقاطع بودن جریان آب و هوا و همچنین طبیعی یا القایی بودن جریان هوا در کلاس ارائه دهید.

فیلم مربوط به برج خنک کن خشک را مشاهده کنید و درباره شیوه عملکرد آن با هم گروهی های خود بحث کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

هنگام کار کردن در یک برج خنک کن در حال کار و نمونه گیری، از ماسک های محافظ ذرات هوا<sup>۳</sup> استفاده کنید. در غیر این صورت فن های برج خنک کننده می بایست خاموش شوند. همچنین از دستکش ایمنی، عینک محافظ و لباس ایمنی استفاده کنید.

## ۵-۲- چیلر

یکی از نیازهای هر ساختمانی تأمین سرمایش آن در فصل تابستان است، این مهم در ساختمان های بزرگ با استفاده از چیلر انجام می گیرد. چیلرها از جمله تجهیزات بسیار مهم در سرمایش ساختمان هستند. چیلر دستگاهی است که برای خنک کاری هوا یا دستگاه ها استفاده می شود. چیلر دارای یک چرخه<sup>۴</sup> بسته است و ماده ای را که باعث کاهش دما می شود، ماده سرد کننده (مبرد<sup>۵</sup>) می نامند. ماده مبرد در چرخه بسته چیلر حرکت می کند و باعث خنک سازی می شود. چیلرها در سامانه های تهویه مطبوع و در صنعت کاربرد مختلفی دارند. کولرهای گازی یک نوع چیلر محسوب می شوند.

۱- Wet Cooling Tower

۲- Dry Cooling Tower

۳- High-Efficiency Particulate Air (HEPA) Protective Mask

۴- Cycle

۵- Refrigerant



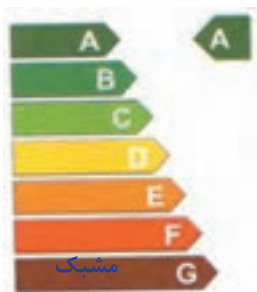


شکل ۹-۲- یک نمونه چیلر

هدف چنین دستگاهی دریافت بیشترین انرژی از محیط سرد ( $Q_L$ ) در برابر کمترین مقدار انرژی مصرفی ( $W$ ) است. شیوه عملکرد چیلرها را به وسیله عاملی به نام ضریب عملکرد ( $COP$ ) بررسی می کنند که این عامل به صورت معادله زیر تعریف می شود:

$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

کافی است واحد گرمای گرفته شده و کار انجام شده یکسان باشد، در صورتی که هر دو از جنس انرژی یا توان باشند، ضریب عملکرد نشان دهنده عملکرد دستگاه است.



از برچسب انرژی دستگاههایی مانند یخچال و کولرگازی چه می دانید؟ برچسب انرژی دستگاههایی مانند یخچال و کولرگازی چه ارتباطی با ضریب عملکرد دارد؟

پرسش ۵



تمرین:

- ۱- ضریب عملکرد یک یخچال با ظرفیت تبرید  $30000 \text{ BTU/hr}$  و توان کمپرسور  $2400$  وات چقدر است؟ برچسب انرژی این یخچال چیست؟
- ۲- ضریب عملکرد یک یخچال به ظرفیت سرمایش  $10000$  وات، برابر با  $3/5$  است. توان کمپرسور آن چقدر است؟
- ۳- توان کمپرسور یک یخچال با ضریب عملکرد ۳، برابر با  $3500$  وات است. ظرفیت سرمایش این یخچال چقدر است؟

**نکته ۱:** پس از مدتی از عملکرد چیلرها، لوله ها و مسیر عبور سیال سردکننده رسوب می گیرد. در این حالت اسیدشویی مسیرهای عبور سیال، مشکل را حل می کند.

بخش های سردسازی یخچال را بررسی کنید و درباره شیوه عملکرد و برچسب انرژی آن گزارش تهیه کنید .

فعالیت کارگاهی ۲





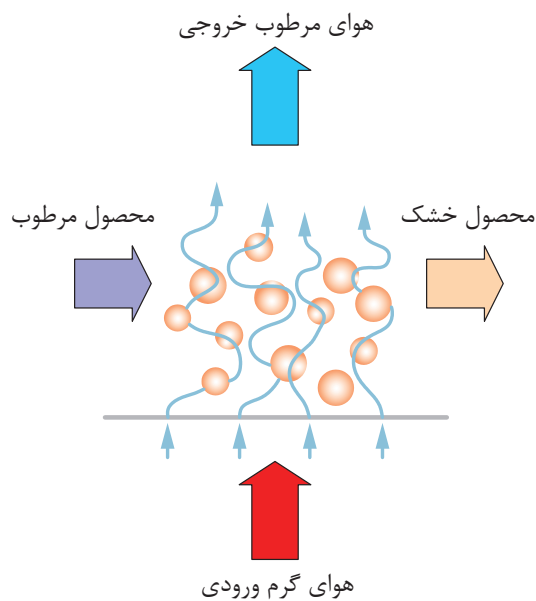
## ۲-۶- خشک‌کن‌ها<sup>۱</sup>



شکل ۲-۱۰- یک نمونه خشک‌کن

فرایند خشک کردن جامدات یکی از قدیمی‌ترین فعالیت‌های انسان است. خشک کردن گوشت، میوه‌ها و سبزیجات از رایج‌ترین روش‌های نگهداری مواد است که به صورت سنتی از طریق گرمای حاصل از آفتاب و هوا، یا از طریق خشک‌کن برقی انجام می‌شود (شکل ۲-۱۰). خشک کردن معمولاً آخرین مرحله یک فرایند است، مخصوصاً در حالتی که محصول برای بسته‌بندی نهایی آماده می‌شود.

خشک کردن جامد یعنی حذف آب یا مایع دیگر از ماده جامد تا حد مجاز، با استفاده از روش تبخیر. عملیات خشک کردن عموماً در حضور یک جریان گاز مانند هوا انجام می‌پذیرد که به آن گاز حامل گفته می‌شود. این جریان گاز می‌تواند به صورت هم‌سو، ناهم‌سو یا متقاطع نسبت به جامد مرطوب باشد. شکل ۲-۱۱ را مشاهده کنید.



شکل ۲-۱۱- عملیات خشک کردن با هوا

هوای گرم ورودی با تبخیر رطوبت ماده خشک‌شونده، رطوبت را با خود حمل می‌کند و میزان رطوبت ماده را کاهش می‌دهد. توجه داشته باشید که جداسازی همین مقدار رطوبت را از روش‌های مکانیکی (مثل فشردن یا سانتریفیوژ) نمی‌توان خشک کردن نامید. از اهداف تبخیر کردن می‌توان به نگهداری موادی که در مجاورت رطوبت فاسد می‌شوند، کم کردن وزن محصول برای بسته‌بندی و حمل و نقل نام برد. خشک کردن در زمینه‌های مختلفی استفاده می‌شود، مثل کاتالیزورها، بسپارها (پلیمرها)، محصولات غذایی، دارویی، کشاورزی و معدنی.

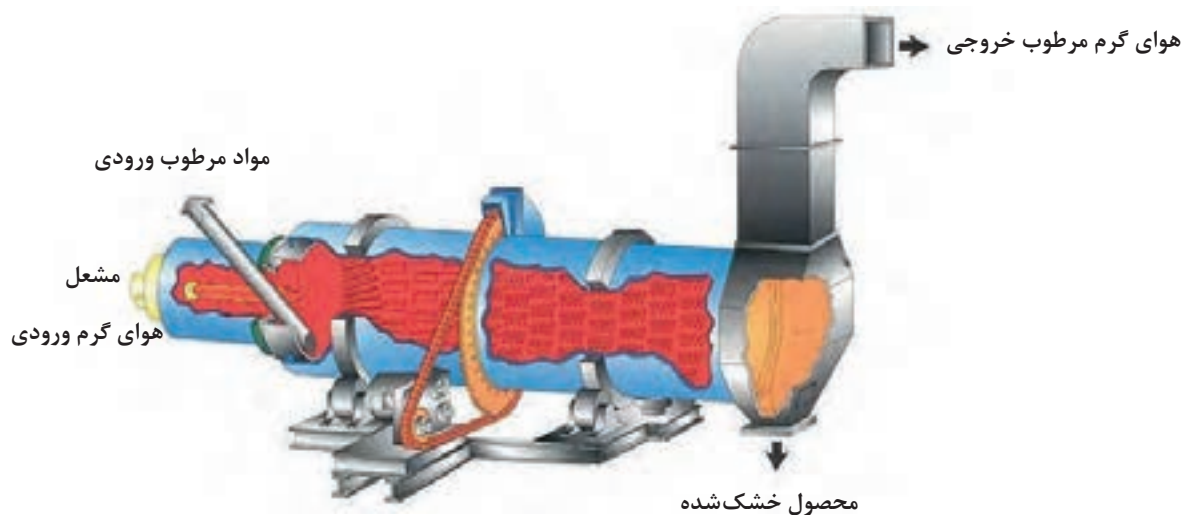
یک مثال روزمره از فرایند خشک شدن در زندگی خود بیان کنید.

پرسش ۶



## روش‌های عملکرد خشک‌کن‌ها

ماده‌ای که باید خشک شود، می‌تواند به‌صورت پیوسته یا ناپیوسته در عملیات خشک‌کردن قرار گیرد. در خشک‌کردن ناپیوسته، مقدار ماده‌ای که باید خشک شود، درون دستگاه و در مسیر جریان پیوسته از هوا قرار داده می‌شود تا رطوبت آن تبخیر شود. خشک‌کردن ناپیوسته در کارگاه‌های کوچک، واحدهای آزمایشی و کارهای تحقیقاتی استفاده می‌شود، زیرا روش نسبتاً پرهزینه‌ای است؛ اما در عملیات خشک‌کردن پیوسته، ماده خشک‌شونده و جریان هوا به‌طور پیوسته از دستگاه عبور می‌کنند.



۱۲-۲- عملکرد خشک‌کن

## متغیرهای مؤثر در خشک‌کردن

برای خشک‌کردن لباس‌های خیس، آنها را روی طناب پهن می‌کنند، چه عواملی در خشک‌شدن لباس‌های خیس مؤثر است؟

بحث کنید ۴



هنگامی که یک جامد مرطوب در مجاورت گاز حامل قرار بگیرد، جسم جامد رطوبت خود را با فرایند تبخیر از دست می‌دهد. این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که رطوبت موجود در جسم جامد با رطوبت گاز حامل به تعادل برسد. در این حالت گاز حامل و جسم جامد در حال تعادل خواهند بود و به مقدار رطوبت جسم جامد در این حالت، رطوبت تعادلی در شرایط فرایند گفته می‌شود؛ بنابراین، هر چه گاز حامل خشک‌تر باشد، رطوبت بیشتری را از جسم جامد جذب می‌کند.

از متغیرهای مهم دیگر، می‌توان به دمای گاز حامل اشاره کرد. هر چه دمای گاز حامل بیشتر باشد، میزان تبخیر رطوبت بیشتر خواهد بود. به‌عنوان مثال در صورتی که یک پارچه مرطوب را در معرض هوای گرم

قرار دهید در مقایسه با حالتی که هوا سرد باشد، مقدار رطوبت بیشتری را از دست می‌دهد. طبیعت و شکل ماده خشک‌شونده هم از مشخصه‌های مهم است. جسم جامد می‌تواند به‌صورت پودر، دانه‌های کروی، جامد کلوخه‌ای و مانند آن باشد. توجه داشته باشید که رطوبت مواد باارزشی مثل مواد دارویی را در دمای پایین و با روشی متفاوت از آن خارج می‌کنند تا ماده دارویی صدمه نبیند. زمان تماس هوا و جسم مرطوب، متغیر مهم دیگر فرایند خشک کردن است. هر چه زمان تماس بیشتر باشد، رطوبت بیشتری از ماده خشک‌شونده جذب می‌شود؛ اما به دلیل مسائل اقتصادی، این عملیات می‌بایست در زمان بهینه انجام پذیرد که از طریق آزمایش به دست می‌آید.

### روش‌های خشک کردن

از تقسیم‌بندی‌های دیگر عملیات خشک کردن، می‌توان به روش گرمادادن برای تبخیر رطوبت اشاره کرد. در صورتی که گرما از راه تماس مستقیم گاز گرم با ماده خشک‌شونده تأمین شود تا رطوبت جسم تبخیر شود، به آن خشک کردن مستقیم گفته می‌شود؛ اما در خشک کردن‌های غیرمستقیم، گرما به‌وسیله منبع گرمایی غیر از گاز حامل به ماده خشک‌شونده اعمال می‌شود؛ به‌عنوان مثال، گرما ممکن است از روش رسانایی از دیواره فلزی یا از طریق تابش پرتو مادون قرمز به ماده منتقل شود.

### انواع خشک‌کن‌های صنعتی

ساختار خشک‌کن‌های صنعتی تا حد زیادی به طبیعت ماده خشک‌شونده بستگی دارد. از انواع خشک‌کن‌های صنعتی می‌توان به خشک‌کن‌های کابینتی، خشک‌کن‌های تونلی و خشک‌کن‌هایی با جریان سراسری اشاره کرد.

### الف) خشک‌کن‌های کابینتی

جامدهایی که باید روی سینی نگه‌داری شوند، مانند مواد خمیری، جامدات کلوخه‌ای که باید روی سینی پخش شوند، درون اتاقکی حاوی سینی‌های متحرک قرار داده می‌شود. پس از بارگیری سینی‌ها، اتاقک بسته می‌شود و هوای گرم از بین سینی‌ها دمیده می‌شود تا رطوبت را از جامد خارج سازد. اگر مایع تبخیرشونده قابل سوختن باشد یا جامد در اثر تماس با اکسیژن دچار تغییر شود، از گازهای بی‌اثر به جای هوا استفاده می‌شود. خشک‌کن کابینتی (قفسه‌ای) در شکل ۱۳-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۲- دستگاه خشک‌کن کابینتی (قفسه‌ای)



عملیات در خشک‌کن کابینتی پیوسته است یا ناپیوسته؟ مستقیم است یا غیر مستقیم؟ دلیل خود را بیان کنید.

شکل ۱۳-۲ دستگاه خشک‌کن کابینتی است. که ماکارونی‌های شکل‌دار درون سینی‌ها قرار داده می‌شود. در این نوع خشک‌کن‌ها، هوای گرم با پنکه در اتاقک خشک‌کن جریان می‌یابد و از روی مواد مرطوب عبور می‌کند. بیشترین ظرفیت خشک کردن چنین خشک‌کنی برای میوه‌ها و سبزیجات می‌تواند تا حدود ۲۰ تن در روز باشد. مدت زمان لازم برای خشک کردن در این نوع خشک‌کن ممکن است به ۲۰ ساعت هم برسد. نگهداری و کار با این خشک‌کن‌ها ساده است و از نظر تولید مواد مختلف بسیار انعطاف‌پذیر هستند. عیب خشک‌کن‌های کابینتی این است که کنترل عملیات خشک کردن از نظر تولید محصولی با کیفیت مناسب و ثابت به خوبی میسر نیست.



فیلم خشک‌کن کابینتی را مشاهده کنید و در مورد شیوه عملکرد آن بحث کنید.

یک جامد خمیری شکل را درون دستگاه اون که نوعی خشک‌کن کابینتی است قرار دهید و مدت زمان لازم برای خشک شدن آن را در دماهای  $5^{\circ}\text{C}$ ،  $70^{\circ}\text{C}$  و  $90^{\circ}\text{C}$  به دست آورید. از این فعالیت چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



هنگام کار کردن با اون، از دست‌کش عایق گرما استفاده کنید.



## خشک‌کن‌های تونلی

در این نوع دستگاه، جامدهای مرطوب روی نوار نقاله یا سینی‌هایی قرار داده می‌شود که در واگن‌هایی تعبیه شده‌اند، و از درون تونلی که دارای دمای بالا یا دارای جریان هوای گرم است، عبور می‌کند. واگن‌ها می‌توانند بیرون از خشک‌کن بارگیری و به داخل و خارج تونل خشک‌کن حرکت داده شوند. زمان اقامت واگن‌ها باید آنقدر باشد که رطوبت جسم به مقدار مطلوب برسد. تخلیه واگن‌ها پس از خشک شدن و بیرون از تونل انجام می‌پذیرد؛ بنابراین، اتلاف زمانی بین چرخه‌های خشک‌کن وجود ندارد.

سمت و سوی حرکت هوا نسبت به حرکت ماده جامد ممکن است هم‌سو و یا ناهم‌سو باشد. هم‌سو بودن حرکت هوا این مزیت را دارد که هوا با بالاترین دما با ماده‌ای تماس پیدا می‌کند که دارای بیشترین رطوبت است. این شکل توزیع و استفاده از گرما عمل خشک کردن را به شیوه مؤثرتری انجام می‌دهد و از طرفی هوای خروجی به میزان قابل توجهی سرد شده است. در صورتی که جهت حرکت هوا مخالف جهت حرکت ماده مرطوب باشد، هوای داغ در ابتدا با ماده‌ای که به میزان زیاد خشک شده است در تماس قرار می‌گیرد و بنابراین ماده بسیار خشکی به دست می‌آید.

بر اساس طبیعت و ساختار ماده خشک‌شونده، ممکن است به جای واگن سینی‌دار، الیاف را از میله‌هایی آویزان کنند و یا چوب و الوار را روی یکدیگر انباشته کنند تا لایه‌های مختلف با قطعات فاصله‌دهنده از هم جدا شوند. از این نوع خشک‌کن‌ها می‌توان برای بلورها، خمیرها و سفال‌ها استفاده کرد. شکل ۱۴-۲ یک خشک‌کن تونلی واگن‌دار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۲- دستگاه خشک‌کن تونلی واگن‌دار

عملیات در خشک‌کن تونلی شکل ۱۵-۲ پیوسته است یا ناپیوسته؟ مستقیم است یا غیرمستقیم؟

پرسش ۸



شکل ۱۵-۲- دستگاه خشک‌کن تونلی دارای نوار نقاله

آنچه در شکل ۱۵-۲ مشاهده می‌شود نیز نوعی خشک‌کن تونلی است که گرمای لازم از جریان برق (المنت‌های گرمایی) تأمین می‌شود. همان‌گونه که در شکل مشخص است، این نوع خشک‌کن‌ها می‌توانند یک یا چندین بستر متفاوت داشته باشند و دمای هر بستر را می‌توان به صورت مجزا و از طریق تجهیزات کنترلی تنظیم کرد.

نکته ایمنی ۵



- ۱- هنگام کار کردن با خشک‌کن‌ها مواظب سطوح داغ باشید. از دستکش‌های محافظ استفاده کنید؛
- ۲- در صورتی که رطوبت تبخیرشده سمی و یا مضر است، از ماسک استفاده کنید؛
- ۳- در صورتی که بخارهای موجود در خشک‌کن موجب صدمه به چشم می‌شود، از عینک‌های محافظ استفاده کنید.

نکته زیست محیطی ۲



یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی در خشک‌کن‌ها، سوخت برای تأمین گرمای لازم است. بهترین سوخت برای جلوگیری از ایجاد آلودگی، گاز تصفیه‌شده شهری یا گازوئیل و نفت سفید استاندارد است. در صورتی که گاز خروجی از خشک‌کن دارای ترکیبات سمی و مضر باشد، آن را به صورت فیزیکی و شیمیایی خنثی کنید و مواد مضر را به شیوه‌ای ایمن که برای محیط‌زیست خطر نداشته باشد، دفع کنید.

بازدید ۱

از یک شرکت تولیدکننده مواد غذایی بازدید کنید و در رابطه با خشک‌کن‌های آن گزارش تهیه کنید. آیا نکات ایمنی در شرکت تولیدی بازدید شده رعایت می‌شود؟ آیا فرایندهای شرکت تولیدی بازدیدشده برای محیط‌زیست خطری دارد؟ برای حل آن راهکار ارائه دهید.

## ارزشیابی شایستگی پودمان دستگاه‌های حرارتی

<p><b>شرح کار:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد؛</li> <li>● هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند؛</li> <li>● پس از انجام دادن کار، وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.</li> </ul>			
<p><b>استاندارد عملکرد:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● کار با مبدل حرارتی، برج خنک کننده و خشک کن‌ها مطابق دستور کار</li> </ul>			
<p><b>شاخص‌ها:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● رعایت مسایل ایمنی در هنگام انجام دادن کار؛</li> <li>● انجام دادن کار طبق دستور کار.</li> </ul>			
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b>  <b>مکان:</b> کارگاه و آزمایشگاه      <b>زمان:</b> یک جلسه آموزشی  <b>ابزار و تجهیزات:</b> وسایل ایمنی شخصی، مبدل‌های حرارتی، برج خنک کننده، خشک کن.</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
<b>ردیف</b>	<b>مرحله کار</b>	<b>کمترین نمره قبولی از ۳</b>	<b>نمره هنرجو</b>
۱	کار با مبدل‌های حرارتی	۲	
۲	کار با برج‌های خنک کننده	۱	
۳	کار با خشک کن‌ها	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسائل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: صرفه جویی در آب مصرفی مبدل‌ها؛ ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۵- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
	<b>میانگین نمرات</b>		*

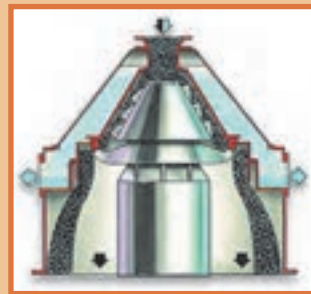
\* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.





## پودمان ۳

# دستگاه‌های دوّار



انواع دستگاه‌های دوّار کاربرد گسترده‌ای در صنایع شیمیایی دارند؛ پمپ‌ها، مخلوط‌کننده‌ها، سانتریفیوژها و دستگاه‌های کاهش اندازه مواد در فرایندهای مختلف استفاده می‌شوند؛ بنابراین آگاهی از آنها و اصول عملکرد حاکم بر آنها لازم است.

## واحد یادگیری ۳

### دستگاه‌های دوّار

#### مقدمه

دستگاه و تجهیزات دوّار، وسایلی هستند که انرژی جنبشی را به یک فرایند اضافه می‌کنند به طوری که باعث انتقال مواد و یا تغییر شکل در مواد می‌شوند. از تجهیزات دوّاری که در صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان به پمپ‌ها، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفیوژها اشاره کرد. پمپ‌ها برای افزایش فشار مایعات استفاده می‌شوند و دارای کاربرد وسیعی در صنایع شیمیایی، صنایع غذایی و منازل هستند. در این بخش انواع پمپ‌ها و ساختار هر یک از آنها و انواع پروانه که در پمپ استفاده می‌شوند و محاسبات پمپ‌ها مطرح می‌شود. از مخلوط‌کن‌ها برای هم‌زدن دو یا چند ماده استفاده می‌شود و در این پودمان به انواع عملیات اختلاط و مخلوط‌کن‌ها پرداخته می‌شود و انواع پره‌ها، که از مشخصه‌های مهم مخلوط‌کن‌ها هستند، معرفی خواهند شد. سانتریفیوژها از دیگر دستگاه‌های دوّاری هستند که از نیروی گریز از مرکز برای جداسازی مواد بهره می‌گیرند و اجزای تشکیل‌دهنده آن، کاربردهای آزمایشگاهی و صنعتی آن معرفی خواهند شد. استفاده از دستگاه‌های کاهش اندازه ذرات در صنعت از اهمیت بالایی برخوردار است. در صنایع مختلف از قبیل صنایع معدن، داروسازی، غذایی و بازیافت مواد اندازه جامدات را با روش‌های مختلف کاهش می‌دهند. انواع دستگاه‌های کاهش اندازه و شیوه عملکرد آنها در انتهای پودمان ارائه شده است.

#### استاندارد عملکرد

کار با پمپ‌ها، مخلوط‌کن‌ها، سانتریفیوژها و دستگاه‌های کاهش اندازه مطابق با دستور کار

#### شایستگی‌های غیر فنی:

- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محول، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی، انجام دادن کارها و وظایف محول؛
- ۴- مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛
- ۵- محاسبه و کار بست ریاضی.

#### شایستگی‌های فنی:

- ۱- کار با پمپ‌ها؛
- ۲- کار با مخلوط‌کن‌ها؛
- ۳- کار با سانتریفیوژها؛
- ۴- کار با دستگاه‌های کاهش اندازه.

## ۱-۳- پمپ‌ها

تصویرهای زیر نشان‌دهنده چه نیازی در زندگی و راه‌های برطرف کردن آن است؟

بحث گروهی ۱



نیاز انسان به آب و لزوم جابه‌جایی آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر، همیشه به‌عنوان یک موضوع حیاتی در زندگی بشر مطرح بوده‌است. اهمیت این موضوع سبب شد که فکر اختراع دستگاهی برای رفع این مشکل به‌وجود آید. اولین نمونه پمپ‌ها با نیروی محرکه انسان یا حیوان در ۱۷ قرن پیش از میلاد مسیح توسط مصریان ساخته شده‌است. امروزه پمپ‌ها یکی از پرکاربردترین و حیاتی‌ترین تجهیزات در صنعت و زندگی روزمره ما هستند. پمپ دستگاهی است که انرژی مکانیکی را از یک منبع خارجی می‌گیرد و به سیالی انتقال می‌دهد که از آن عبور می‌کند. در نتیجه انرژی سیال بعد از خروج از پمپ افزایش می‌یابد. از این وسیله برای انتقال سیال به یک ارتفاع معین یا حرکت سیال سامانه‌های لوله‌کشی و به‌طور کلی انتقال سیال از یک نقطه به نقطه دیگر استفاده می‌شود.

فکر کنید ۱



چند نمونه از کاربردهای پمپ‌ها را در زندگی نام ببرید؟



آیا با عملکرد پمپ کولرهای آبی آشنایی دارید؟ در مورد کاربری و شیوه عملکرد آنها بحث کنید؟



## ۲-۳- تقسیم‌بندی پمپ‌ها

متداول‌ترین روش تقسیم‌بندی پمپ‌ها، بر مبنای شیوه انتقال انرژی به سیال است. با این دیدگاه و مطابق شکل ۳-۱ پمپ‌ها را به دو گروه بزرگ تقسیم‌بندی می‌کنند.

### ۱- پمپ‌های دینامیکی

اساس کار این نوع پمپ‌ها، انتقال انرژی به سیال و افزایش انرژی جنبشی آن است، این افزایش انرژی جنبشی با سرعت بخشیدن به سیال از طریق چرخش پروانه پمپ صورت می‌گیرد و در نتیجه توانایی تولید فشار پمپ تابعی از سرعت دوران پروانه است. در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به صورت پیوسته انجام می‌شود. این پمپ‌ها، سیال را با دبی<sup>۱</sup> زیاد و فشار کم انتقال می‌دهند و در هنگام انتقال سیال قسمت ورودی و خروجی پمپ با هم در ارتباط هستند. معروف‌ترین پمپ دینامیکی پمپ‌های گریز از مرکز (سانتریفیوژ) است.

### ۲- پمپ‌های جابه‌جایی مثبت

پمپ‌هایی را که در آن انتقال انرژی به سیال به صورت متناوب و دوره‌ای است، پمپ‌های جابه‌جایی مثبت می‌نامند. پمپ‌های پیستونی از انواع پمپ‌های جابه‌جایی مثبت هستند. شکل ۳-۱ تقسیم‌بندی این دو نوع پمپ را بهتر نمایش می‌دهد.

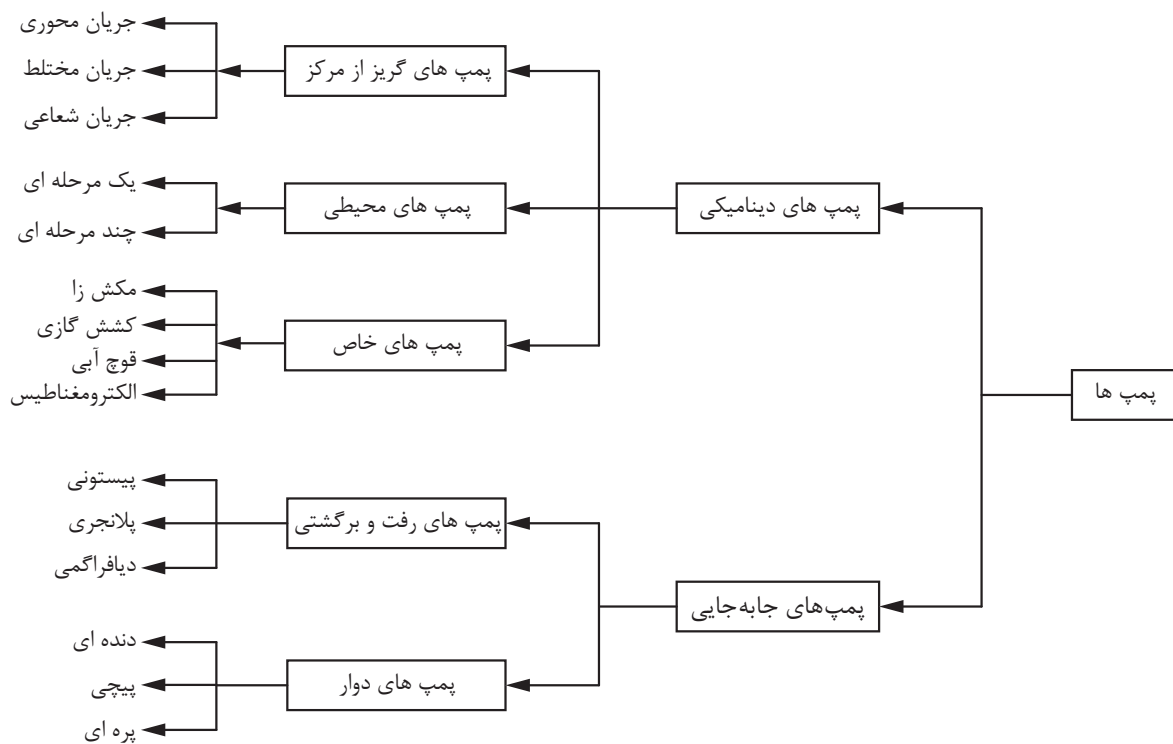
فیلم آموزشی عملکرد پمپ‌های دینامیکی و جابه‌جایی مثبت را مشاهده کنید و گزارش آن را بنویسید.



۱- دبی یا شدت جریان سیال به مقدار سیال عبوری از سطح مقطع جریان در واحد زمان گفته می‌شود.



با توجه به فیلم، در خصوص تفاوت‌های عملکردی و ساختاری دو نوع پمپ اشاره شده، بحث کنید.



شکل ۳-۱- نمودار تقسیم‌بندی پمپ‌ها

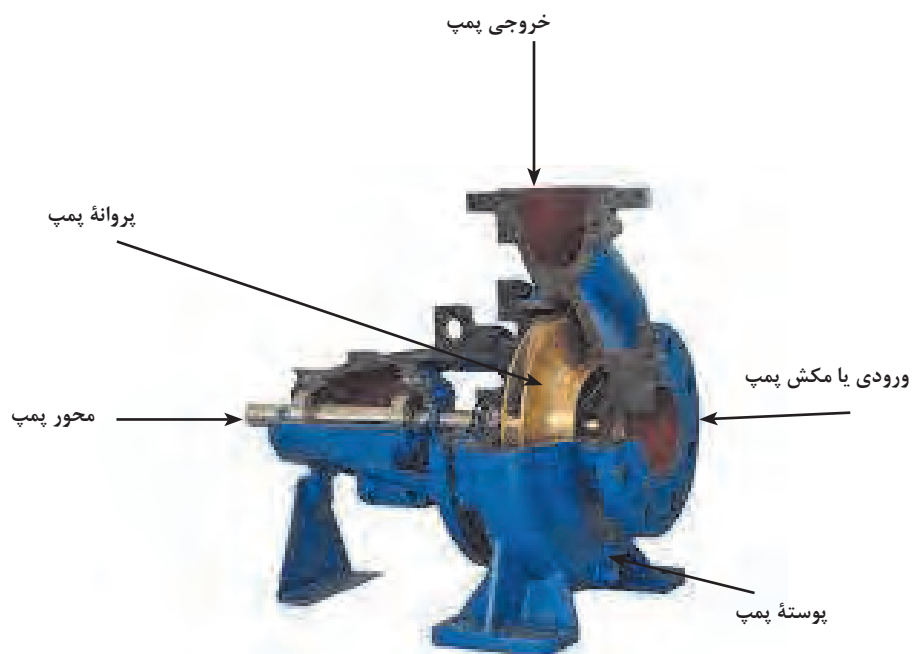
### ۳-۳- پمپ‌های گریز از مرکز

#### ساختمان پمپ‌های گریز از مرکز یا سانتریفیوژ

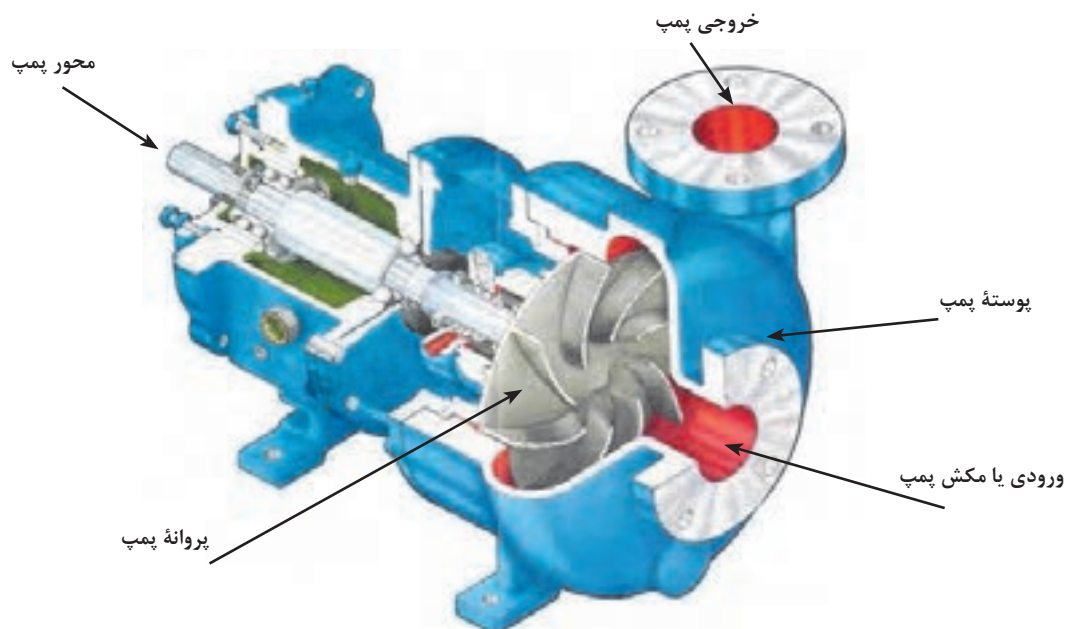
شکل‌های ۳-۲، ۳-۳ و ۳-۴ ساختمان و بخش‌های مختلف پمپ گریز از مرکز را نشان می‌دهند. اجزای اصلی یک پمپ گریز از مرکز عبارت‌اند از:

- ۱- محور پمپ؛
- ۲- پروانه؛
- ۳- پوسته حلزونی پمپ؛
- ۴- خروجی پمپ؛
- ۵- ورودی پمپ.

۱- نمودار داده شده برای آگاهی بیشتر هنجاریان است و نیازی به حفظ کردن آن نیست.



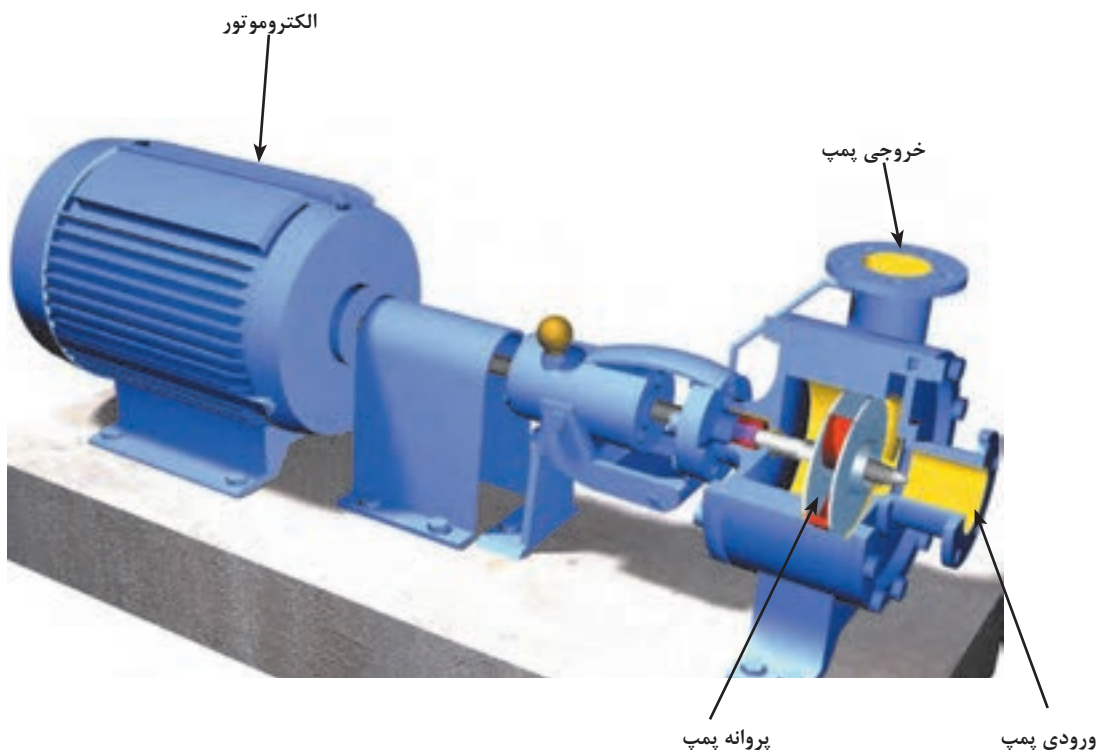
شکل ۲-۳- نمایی از ساختمان پمپ گریز از مرکز



شکل ۳-۳- نمایی از ساختمان پمپ گریز از مرکز با یک نوع پروانه متفاوت



قطعات یک پمپ گریز از مرکز را باز کنید و آنها را شناسایی کنید.

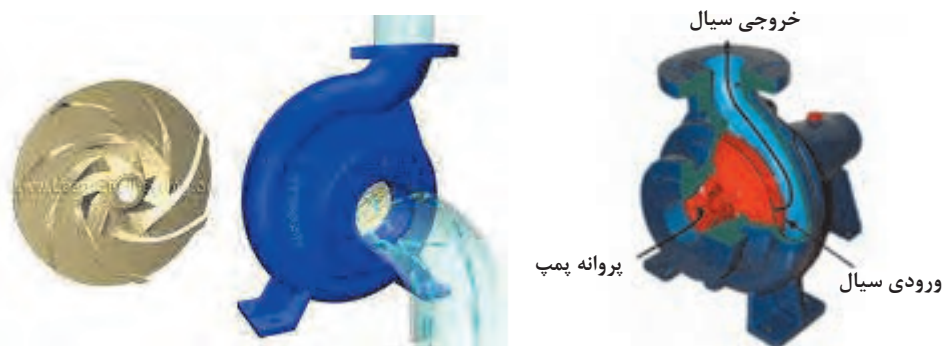


شکل ۴-۳- پمپ گریز از مرکز همراه با الکتروموتور آن

### عملکرد پمپ‌های گریز از مرکز

در این نوع پمپ‌ها چرخش قطعه‌ای داخل پوسته پمپ، موجب گردش سیال می‌شود. در نتیجه این عمل، سیال تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز واقع می‌شود و از مجرای خروجی خارج می‌گردد. این قطعه پروانه پمپ نامیده می‌شود.

مطابق شکل ۵-۳، مجرای ورودی یا مکش سیال در مرکز پروانه قرار دارد و مجرای خروجی در اطراف بدنه واقع شده‌است. در پمپ‌های سانتریفیوژ سیال در اثر نیروی مکش از مرکز پروانه وارد پمپ می‌شود و در اثر چرخش پروانه، تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز پروانه قرار می‌گیرد و پمپ را ترک می‌کند و از مجرای خروجی خارج می‌شود.



شکل ۵-۳- مسیر حرکت سیال در پمپ گریز از مرکز

## انواع پروانه‌ها

پروانه پمپ‌ها را از نظر ساختمان مکانیکی پروانه و جهت جریان مایع می‌توان تقسیم‌بندی کرد.

۱- **ساختمان مکانیکی:** پروانه پمپ از نظر ساختمان به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود و براساس نوع و گران‌روی<sup>۱</sup> سیال پروانه مناسب انتخاب می‌گردد؛

**پروانه بسته:** این نوع پروانه برای انتقال مایعاتی که گران‌روی آنها کم است استفاده می‌شود. در این نوع پروانه‌ها، پره‌های پروانه بین دو صفحه به نام لفافه پروانه قرار می‌گیرند.

**پروانه نیمه‌باز:** این نوع پروانه برای انتقال سیالات با گران‌روی بالا مانند فاضلاب، خمیر کاغذ و محلول شکر به کار می‌روند. برای کمتر شدن گرفتگی پروانه، تعداد پره‌ها کم و طول آنها بلند انتخاب می‌شود. در این نوع پروانه‌ها، پره‌ها از یک طرف به وسیله صفحه لفافه بسته شده‌است.

**پروانه باز:** این نوع پروانه دارای صفحه لفافه نیست و برای پمپ‌کردن سیالاتی با رسوبات و ذرات معلق زیاد استفاده می‌شود.



شکل ۶-۳ انواع پروانه‌ها از نظر ساختمان مکانیکی

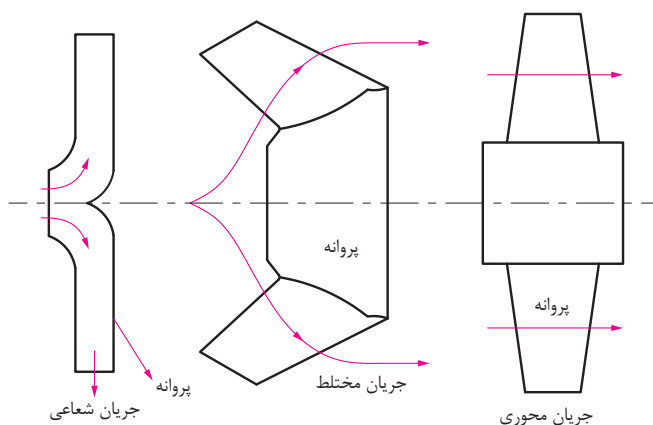
۱- یک مشخصه فیزیکی است که مقاومت سیال را در برابر جاری شدن نشان می‌دهد.





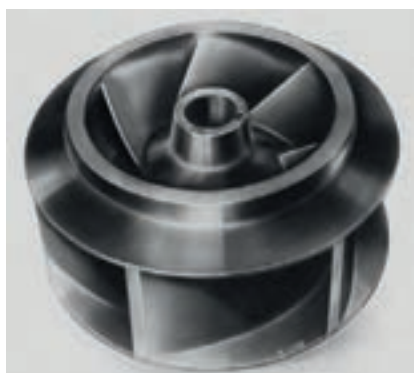
- ۱- کاربرد انواع پروانه‌ها را در صنایع شیمیایی ایران بیان کنید.
- ۲- انواع پمپ‌های موجود در هنرستان و منزل خود را شناسایی کنید و نوع پروانه آنها را مشخص کنید.

۲- جهت جریان مایع: از نظر جریان مایع، مطابق شکل ۳-۷ پروانه‌ها به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند؛  
الف: پروانه با جریان شعاعی؛  
ب: پروانه با جریان مختلط؛  
ج: پروانه با جریان محوری.



شکل ۳-۷- جهت جریان مایع در انواع پروانه‌ها

**پروانه با جریان شعاعی:** در این نوع پروانه‌ها، مایع در جهت محور پمپ به پره‌ها وارد و در جهت شعاعی از آن خارج می‌شود. در این نوع پروانه‌ها عمل گریز از مرکز کامل‌تر از انواع دیگر صورت می‌گیرد. هد این پمپ‌ها زیاد و دبی آنها کم است (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸- پروانه با جریان شعاعی

۱- میزان افزایش فشاری که پمپ به سیال می‌دهد، هد پمپ نامیده می‌شود.

**پروانه با جریان مختلط:** در این نوع پروانه، مایع موازی با محور وارد پروانه می‌شود و به‌طور مایل نسبت به محور از آن خارج می‌گردد. در نتیجه قسمتی از تبدیل انرژی به‌وسیله عمل گریز از مرکز و قسمتی به‌وسیله انتقال سیال انجام می‌گیرد. قطر طرف خروجی پره‌ها بزرگ‌تر از قطر طرف ورودی آنهاست. شکل ۹-۳ پروانه با جریان مختلط را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۳- پروانه با جریان مختلط

پروانه نوع مختلط در واقع یک نوع پروانه شعاعی است که پره‌های آن تغییر یافته‌اند و از آنها بیشتر در مواقعی استفاده می‌شود که فشار و دبی متوسط نیاز است. بعضی از این پروانه‌ها پیچی شکل هستند و پروانه پیچی نامیده می‌شوند.

**پروانه با جریان محوری:** در این نوع پروانه مایع موازی با محور وارد پروانه می‌شود و موازی با آن خارج می‌گردد. در این پروانه‌ها نیروی گریز از مرکز برای تولید فشار دخالتی ندارد و بدین دلیل پمپ با جریان محوری را، در بعضی از تقسیم بندی‌ها، جدای از پمپ‌های گریز از مرکز تقسیم‌بندی می‌کنند. این پروانه‌ها را برای دبی زیاد سیال و ارتفاع کم آن به کار می‌برند.



شکل ۱۰-۳- پروانه با جریان محوری

**جنس پروانه:** جنس پروانه به نوع کاربرد پمپ و سیال پمپ شونده بستگی دارد. متغیرهای مؤثر در انتخاب جنس پروانه، مقاومت در برابر زنگ‌زدگی و سایش، قابلیت فلزکاری و تراش کاری و قیمت مناسب هستند.



برای هر یک از پروانه‌ها در صنعت مثالی بیان کنید.

## ۳-۴- محاسبات در پمپ‌ها

### هد پمپ

میزان افزایش فشاری که پمپ به سیال می‌دهد، هد پمپ نامیده می‌شود. این هد می‌تواند به صورت فشاری یا ارتفاع بیان شود. در محاسبات پمپ، ارتفاع کاربرد بیشتری نسبت به فشار دارد. علت اینکه به جای فشار، از هد ارتفاع برای قابلیت پمپ استفاده می‌شود، این است که سازندگان بتوانند ویژگی‌های عملکرد پمپ‌ها را فارغ از چگالی و سایر خواص فیزیکی مایعات معرفی کنند. به هد پمپ، ارتفاع آب‌دهی نیز می‌گویند.

$$h = \frac{P}{\rho g} = \frac{P}{\gamma}$$

نسبت اختلاف فشار مایع در نقطه ورودی به سامانه پمپ و نقطه خروجی از سامانه پمپ بر متغیر گاما ( $\gamma = \rho g$ ) هد پمپ گفته می‌شود.

$$\text{هد پمپ} = h = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

### توان تولیدی یا توان هیدرولیک

میزان انرژی‌ای را که پمپ در واحد زمان به مایع منتقل می‌کند، توان تولیدی یا توان هیدرولیک پمپ می‌نامند و با استفاده از معادله روبه‌رو محاسبه می‌شود:

$$P_O = P_h = \Delta P \times Q$$

در این معادله:

$P_O$  و  $P_h$ : توان تولیدی یا هیدرولیک بر حسب وات (W)

$\Delta P$ : اختلاف فشار در دو سر پمپ بر حسب پاسکال (Pa)

Q: دبی مایع بر حسب مترمکعب بر ثانیه ( $m^3/s$ )

## توان الکتریکی مصرفی

میزان انرژی الکتریکی مصرف شده برای تأمین نیروی محرکه پمپ را توان الکتریکی مصرفی پمپ می‌نامند که با استفاده از معادله روبه‌رو محاسبه می‌شود:

$$P_i = V \times I$$

در این معادله:

$P_i$ : توان مصرفی بر حسب وات (W)

$V$ : اختلاف پتانسیل بر حسب ولت (V)

$I$ : شدت جریان بر حسب آمپر (A)

## بازده پمپ

بازده پمپ بر اساس تقسیم مقدار توان تولیدی یا (هیدرولیک) پمپ به مقدار توان مصرفی آن محاسبه می‌شود.

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{\Delta P \times Q}{V \times I}$$

بازده پمپ همواره عددی بین صفر و یک است و بازده درصدی پمپ از ضرب این عدد در عدد ۱۰۰ به دست می‌آید.

**مثال ۱)** برای تأمین نیروی محرکه یک پمپ به ظرفیت ۲/۲ لیتر بر ثانیه، جریان الکتریکی با شدت ۳۰ آمپر و اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولت استفاده شده‌است، در صورتی که اختلاف فشار در دو سر پمپ ۱۰<sup>۶</sup> پاسکال باشد، توان تولیدی، مصرفی و بازده پمپ را محاسبه کنید؟

**پاسخ:**

$$Q = 2/2 \frac{L}{s} = 2/2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/s$$

$$P_o = 2/2 \times 10^{-3} \times 10^6 = 2200 \text{ W}$$

$$P_i = 30 \times 220 = 6600 \text{ W}$$

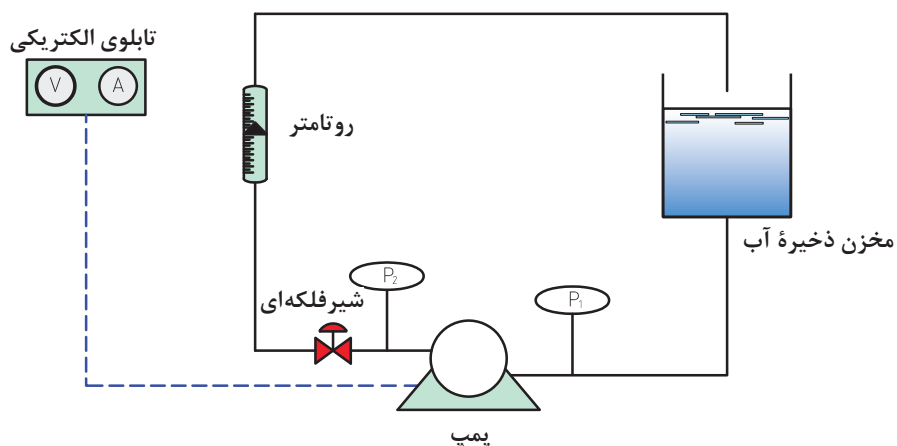
$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{2200}{6600} = 0/33$$

بنابراین بازده پمپ ۰/۳۳ یا ۳۳ درصد است.

**تمرین ۱:** یک پمپ دارای بازدهی ۶۴ درصد است، اگر ظرفیت پمپ برابر با ۷ لیتر در ثانیه، شدت جریان الکتریکی ۲۶ آمپر و اختلاف پتانسیل الکتریکی ۲۲۰ ولت باشد، این پمپ چه اختلاف فشاری را می‌تواند تأمین کند؟



از یک پمپ گریز از مرکز برای پمپ کردن آب از یک تجهیز به تجهیز دیگر استفاده کنید، با راهنمایی مربی پمپ را راه‌اندازی کنید و توان تولیدی و مصرفی و بازده آن را محاسبه کنید. راهنمایی: برای آشنایی با عملکرد پمپ و محاسبات مربوط به آن یک نمونه شکل و روش کار ارائه می‌شود.



### روش کار:

- ۱- با تنظیم شیر فلکه‌ای دبی‌های مختلفی را ایجاد کنید؛
- ۲- در هر دبی ایجادشده فشارهای ورودی و خروجی را بخوانید و اختلاف فشار برای هر شدت جریان را محاسبه کنید؛
- ۳- در هر دبی ایجادشده ولتاژ و آمپر را بخوانید و توان الکتریکی را محاسبه کنید؛
- ۴- توان تولیدی و ارتفاع آب‌دهی را محاسبه کنید و سپس بازده پمپ را به‌دست آورید. چگالی آب را  $1000 \frac{kg}{m^3}$  و مقدار شتاب جاذبه زمین را  $10 \frac{m}{s^2}$  در نظر بگیرید.
- ۵- داده‌های جمع‌آوری‌شده را در جدول زیر یادداشت کنید و سپس ارتفاع آب‌دهی (هد پمپ) را برحسب دبی رسم کنید؛
- ۶- بازده پمپ را برحسب دبی رسم کنید؛
- ۷- با استفاده از نمودارها، نتیجه بگیرید در کدام دبی، پمپ بیشترین بازده را دارد.

ردیف	$Q$ (L/min. m <sup>3</sup> /s)	$P_1$ (Pa)	$P_2$ (Pa)	$\Delta P$ (Pa)	$h$ (m)	$V$ (v)	$I$ (A)	$P_i$ (w)	$P_o$ (w)	$\eta$
۱										
۲										
۳										
۴										

نکته ایمنی ۱



هنگام راه‌اندازی پمپ نکات زیر را باید در نظر گرفت:  
اطمینان از نصب صافی در لوله مکش پمپ؛  
اطمینان از بسته نبودن شیر تخلیه؛  
باز کردن کامل شیر مکش پمپ؛  
اطمینان از نبود نشستی غیر عادی در سامانه آب‌بندی؛  
هرگز پمپ را در دبی‌های کمتر از دبی کمینه یا با وجود مسیرهای مکش و تخلیه بسته راه‌اندازی نکنید. این امر ممکن است موجب صدمات فیزیکی به دستگاه شود.

مزایا و معایب استفاده از پمپ‌های سانتریفیوژ چیست؟

تحقیق کنید ۱



## ۵-۳- پمپ‌های جابه‌جایی مثبت



پمپ‌های جابه‌جایی مثبت به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۳-۱۱):

۱- پمپ‌های رفت و برگشتی<sup>۱</sup>

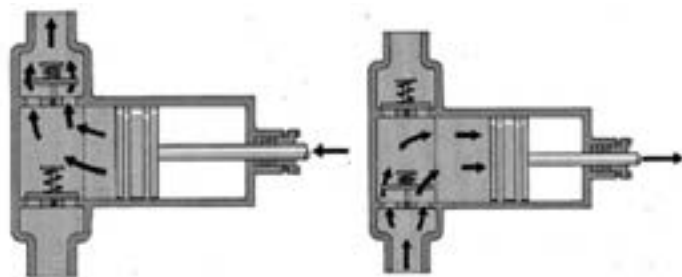
۲- پمپ‌های دوار<sup>۲</sup>

شکل ۳-۱۱ یک نمونه پمپ جابه‌جایی مثبت را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۱۱- یک نمونه پمپ جابه‌جایی مثبت

### الف) پمپ‌های رفت و برگشتی

در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به صورت دوره‌ای است. اساس عملکرد این پمپ‌ها حرکت رفت و برگشتی پیستون است. با عقب رفتن پیستون مکش ایجاد می‌شود و در نتیجه مایع از طریق شیر ورودی داخل محفظه می‌شود. با حرکت پیستون به طرف جلو دریچه ورودی بسته و مایع از طریق شیر خروجی به خارج هدایت می‌گردد. مزیت مهم این پمپ‌ها تولید ارتفاع آب‌دهی (هد) و بازده بالا است. تلمبه دوچرخه و سرنگ تزریق نمونه‌هایی از پمپ‌های رفت و برگشتی هستند.



شکل ۳-۱۲- شیوه عملکرد پمپ پیستونی

### انواع پمپ‌های رفت و برگشتی

۱- پمپ‌های پیستونی<sup>۳</sup>؛

۲- پمپ‌های پلانجری<sup>۴</sup>؛

۳- پمپ‌های دیافراگمی<sup>۵</sup>.

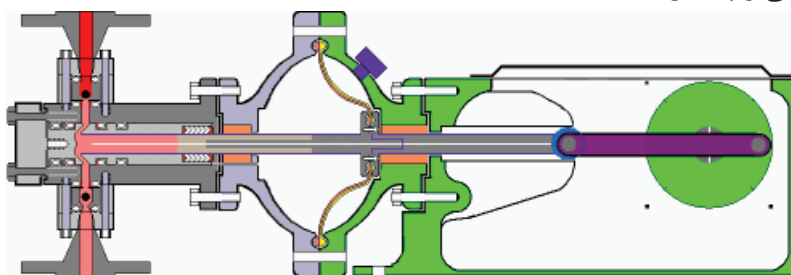
شیوه عملکرد پمپ پیستونی در شکل ۳-۱۲

نشان داده شده است. همچنین طرح ساده‌ای از

پمپ پلانجری در شکل ۳-۱۳ آورده شده است.

تفاوت ساختاری پمپ‌های پیستونی و پلانجری

در شکل ۳-۱۴ دیده می‌شود.



شکل ۳-۱۳- پمپ پلانجری

۱- Reciprocating Pumps

۲- Rotary Pumps

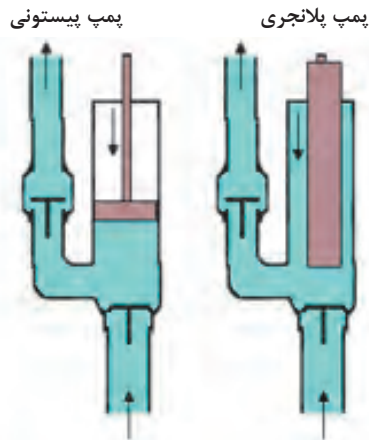
۳- Piston Pumps

۴- Plunger Pumps

۵- Diaphragm Pumps

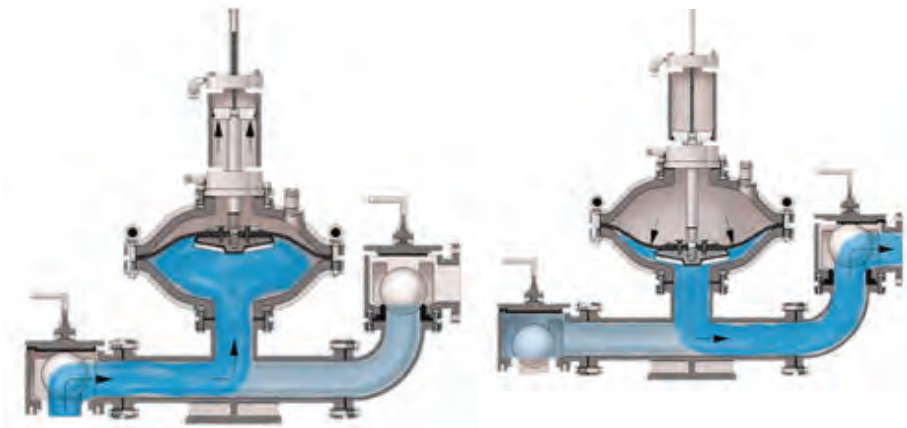


دربارهٔ پمپ‌های پیستونی و پلانجری تحقیق کنید و نتیجه آن را در کلاس ارائه دهید.



شکل ۱۴-۳ - تفاوت پمپ پیستونی و پلانجری

پمپ دیافراگمی نمونهٔ دیگری از پمپ‌های رفت و برگشتی است. شیوهٔ عملکرد پمپ دیافراگمی با حرکت رو به بالا و پایین صفحهٔ دیافراگم آن در شکل ۱۵-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۳ - شیوهٔ عملکرد پمپ دیافراگمی

فیلم آموزشی پمپ‌های رفت و برگشتی پیستونی و پلانجری را مشاهده کنید و در پایان گزارش آنها را بنویسید.

فیلم ۲



در مورد کاربرد پمپ‌های رفت و برگشتی در صنایع شیمیایی تحقیق کنید و نتیجهٔ آن را در کلاس ارائه دهید.

تحقیق  
گروهی ۱





## ب) پمپ‌های دوار

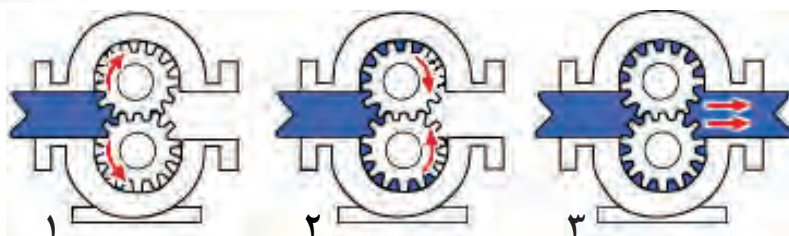
این پمپ‌ها اگرچه دوار هستند، ولی پروانه ندارند بلکه قطعات چرخ‌دنده‌ای یا مارپیچی در آنها وجود دارد که مایع در بین دنده‌های چرخ‌دنده پمپ به دام می‌افتد و در اثر چرخیدن چرخ‌دنده‌ها فشرده شده و با فشار به بیرون رانده می‌شود. این پمپ‌ها به ویژه برای مایعات با گرانروی بالا مناسب هستند و بازده بالایی دارند.

انواع پمپ‌های دوار عبارت‌اند از:

- ۱- پمپ‌های دنده‌ای؛
- ۲- پمپ‌های پیچی؛
- ۳- پمپ‌های پره‌ای.



شیوه عملکرد پمپ دنده‌ای در شکل ۱۶-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۳- شیوه عملکرد پمپ دنده‌ای

فیلم آموزشی پمپ‌های دوار را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را بنویسید.

فیلم ۳



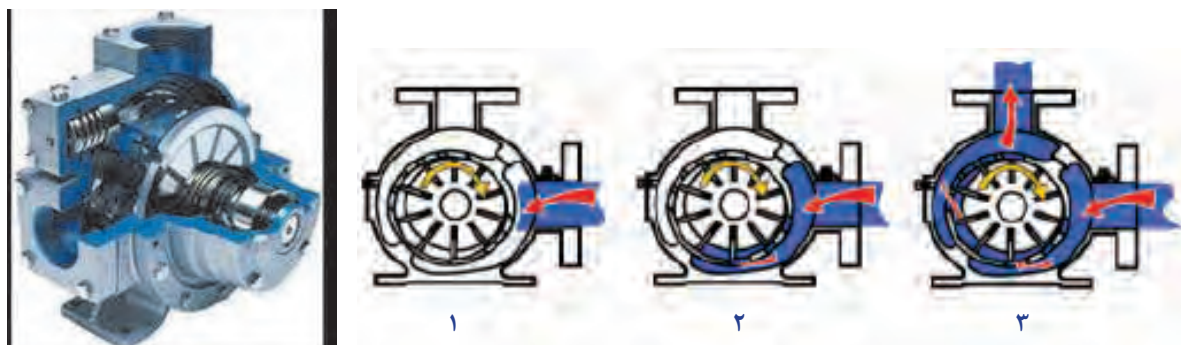
طرح ساده‌ای از پمپ پیچی در شکل ۱۷-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۷-۳- پمپ پیچی

- ۱- Gear Pumps
- ۲- Screw Pumps
- ۳- Vane Pumps

شیوه عملکرد پمپ پره‌ای در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۸- شیوه عملکرد پمپ پره‌ای

با راهنمایی مربی دو نوع پمپ جابه‌جایی مثبت را از نظر ظاهری و قطعات با هم مقایسه کنید؟

فعالیت  
کارگاهی ۳



نکته ایمنی ۲



زمانی که پمپ جابه‌جایی مثبت در حال کار کردن است، باید از باز بودن دریچه خروجی پمپ اطمینان حاصل کرد. چنانچه مسئول بهره‌برداری بخواهد، اقدام به بستن مجرای خروجی پمپ کند، باید مطمئن شود که مجرای خروجی دیگری برای تخلیه مایع وجود دارد. در غیر این صورت بر قطعات پمپ فشار وارد می‌شود و ممکن است الکتروموتور پمپ بسوزد یا پمپ از کار بیفتد و یا سوختن فیوز و ترکیدن محفظه و لوله‌ها و سایر معایب را در پی داشته باشد.



## ۳-۶ پدیده حفره‌زایی

پدیده حفره‌زایی در صنعت به «کاویتاسیون» معروف است. کاویتاسیون در لغت به معنای ایجاد حفره یا حفره‌زایی است. پیش از توضیح پدیده کاویتاسیون لازم است به دمای جوش و فشار بخار مایعات اشاره شود. نقطه جوش مایعات به فشار محیطی بستگی دارد که مایع در آن قرار دارد؛ مثلاً آب در فشار یک اتمسفر در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس می‌جوشد که این دما در فشار ۵/۰ اتمسفر در حدود ۸۰ درجه سلسیوس است. یعنی با کاهش فشار محیط، دمای جوش آب کاهش می‌یابد و برعکس.

هرگاه در هنگام جریان مایع در داخل یک پمپ، فشار مایع در نقطه‌ای از فشار تبخیر مایع در دمای مربوط به آن کمتر شود، حباب‌های بخار در فاز مایع به وجود می‌آیند، این حباب‌های کوچک همراه با مایع به نقاط دارای فشار بالاتر منتقل می‌شوند و می‌ترکند و باعث ایجاد آسیب به بدنه و پروانه پمپ می‌شوند. این پدیده مخرب در پمپ‌ها را کاویتاسیون می‌نامند. پدیده کاویتاسیون برای پمپ بسیار خطرناک است و پس از مدت کوتاهی پره‌ها و پوسته پمپ را از بین می‌برد؛ بنابراین باید از به وجود آمدن چنین پدیده‌ای در پمپ جلوگیری کرد. کاویتاسیون همواره با صداهای منقطع شروع می‌شود و سپس در صورت ادامه کاهش فشار در دهانه ورودی پمپ، بر شدت این صداها افزوده می‌شود. صدای کاویتاسیون مخصوص و مشخص است و شبیه برخورد گلوله‌هایی به یک سطح فلزی است. هم‌زمان با تولید این صداها پمپ به ارتعاش در می‌آید. در انتها این صداهای منقطع به صداهایی شدید و پیوسته تبدیل می‌شود و در همین حال بازده پمپ به شدت کاهش می‌یابد. شکل ۳-۱۹ آسیب‌دیدگی پروانه پمپ در اثر پدیده کاویتاسیون را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۹- آسیب‌دیدگی پروانه پمپ در اثر پدیده کاویتاسیون

فیلم آموزشی مربوط به پدیده کاویتاسیون را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

فیلم ۴



در ایران شرکت‌های توانمند بسیاری وجود دارند که در زمینه ساخت پمپ‌های باکیفیت فعالیت می‌کنند. هم‌اینک در بیشتر صنایع کشور از این پمپ‌ها استفاده می‌شود.



تفاوت میان هم زدن و مخلوط کردن چیست؟

فرایند هم‌زدن به مفهوم ایجاد کردن حرکت و آشفتگی در مایع یا جامد است. یکی از اهداف هم‌زدن، مخلوط کردن دو یا چند ماده است. اختلاط می‌تواند به منظور انجام دادن یک تغییر فیزیکی یا شیمیایی باشد. در بیشتر صنایع شیمیایی و در بسیاری از صنایع دیگر از عملیات اختلاط استفاده می‌شود. در صنایع غذایی، دارویی، کاغذ، لاستیک، پلاستیک و حتی گاز و پتروشیمی عملیات مخلوط کردن کاربرد دارد. در اغلب واکنش‌های چند فاز، شیوه، شدت و مدت زمان اختلاط مواد در بازده واکنش تأثیر چشمگیر دارد. اگر اختلاط به شکل مطلوب انجام نشود، برخورد میان مولکول‌های مواد واکنش دهنده به شکل مطلوب انجام نمی‌شود و در نتیجه یا واکنش انجام نخواهد شد یا بازده آن کمتر از حد انتظار خواهد بود.

نکته مهم آن است که در بسیاری از فرایندها هم‌زدن شدید یا طولانی مدت، علاوه بر اتلاف انرژی بر کیفیت محصول اثر نامطلوب می‌گذارد؛ برای مثال در فرایند تشکیل بلور یا بعضی فرایندهای زیست‌شناسی، افزایش توان هم‌زدن باعث شکسته شدن دانه‌های بلور یا صدمه دیدن ریزاندامگان و کاهش کیفیت محصول می‌شود، همچنین در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی اگر زمان اختلاط بیش از حد طولانی شود، محصول شروع به تجزیه شدن می‌کند و به مواد ناخواسته تبدیل می‌شود. بدین ترتیب بازده واکنش کاهش می‌یابد.

هدف از هم‌زدن چیست و هم‌زدن در فرایندهای مختلف با چه اهدافی انجام می‌شود؟ با ذکر مثال بحث کنید.



### انواع اختلاط

عملیات اختلاط بدون توجه به ماهیت صنعتی آن به شش گروه تقسیم‌بندی می‌شود:

- اختلاط دو یا چند محلول (یک فاز)؛
- اختلاط دو یا چند مایع نامحلول (چند فاز)؛
- تعلیق جامد در مایع؛
- پخش گاز در مایع؛
- اختلاط سه فاز (جامد، مایع و گاز)؛
- اختلاط جامدات.



جدول زیر را کامل کنید.

کاربردها	هدف از هم‌زدن	فرایند اختلاط
		دو یا چند محلول (یک فاز)
		دو یا چند مایع نامحلول (چند فاز)
		تعلیق جامد در مایع
		پخش گاز در مایع
		اختلاط سه فاز
		اختلاط جامدات

## ۸-۳ انواع مخلوط‌کن‌ها

مخلوط‌کننده‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی کرد:

۱- مخلوط‌کننده‌های فاز مایع که در آنها حداقل یک فاز مایع وجود دارد؛

۲- مخلوط‌کننده‌های فاز جامد که در آنها فاز مایع یا گاز وجود ندارد.

**مخلوط‌کننده‌های فاز مایع:** در این نوع دستگاه حداقل یک فاز مایع وجود دارد و در کنار آن فازهای دیگر هم می‌توانند حضور داشته باشند. پرکاربردترین دستگاه برای مخلوط‌شدن در فاز مایع، مخزن مجهز به هم‌زن مکانیکی<sup>۱</sup> است. طرح ساده‌ای از این مخلوط‌کن در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۰ طرح ساده‌ای از مخلوط‌کن ساده

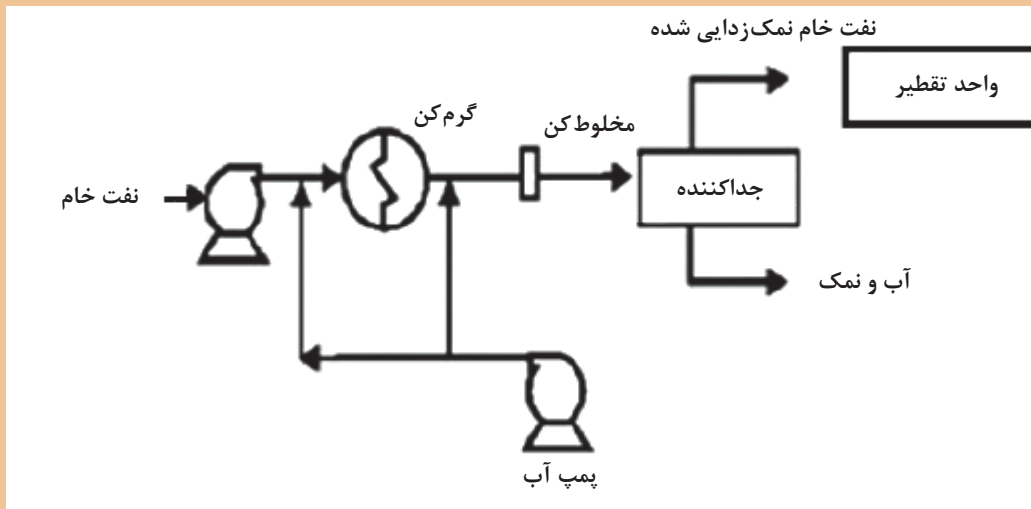


کف مخازن مجهز به هم‌زن به شکل محدب طراحی می‌شود، به نظر شما دلیل آن چیست؟



علاوه بر مخازن مجهز به همزن مکانیکی، مخلوط‌کن‌های ساکن یا داخلی<sup>۱</sup> نیز برای اختلاط مایع در مایع یا پخش جامدات و گازها در مایعات استفاده می‌شوند. این نوع همزن دارای قطعات متحرک نیست و از نظر ساختمان ساده و هزینه آن در مقایسه با سایر مخلوط‌کن‌ها مناسب‌تر است. این مخلوط‌کننده‌ها در گستره وسیعی از گران‌روی قابل استفاده هستند و حتی در مخلوط کردن (بسپارهای) مذاب نیز می‌توان از آنها استفاده کرد. هدف از استفاده از این نوع همزن، دستیابی به توزیع یکنواختی از غلظت و دما است. در این مسیر مواد در داخل لوله‌ای که در آن موانعی برای اختلاط بیشتر پیش‌بینی شده است، وارد و با حرکت به سمت انتهای لوله به تدریج مخلوط می‌شوند. بیش از ۳۰ نوع متفاوت از این نوع مخلوط‌کننده (با آرایش‌های مختلفی از موانع) وجود دارد.

فرایند نمک‌زدایی از نفت خام در پالایشگاه‌ها پیش از فرایند تقطیر و پالایش نفت به منظور جداسازی ترکیبات نمکی از نفت به منظور کاهش خوردگی انجام می‌گیرد. به این منظور نفت را با آب مخلوط می‌کنند و این ترکیبات از فاز آلی وارد فاز آبی می‌شوند و در یک جداکننده این دو فاز از هم جدا می‌شوند. به این ترتیب ترکیبات نمکی از نفت خام جدا می‌گردد. با توجه به مطالب عنوان شده، برای فرایند زیر یک همزن مناسب انتخاب کنید:



یک نمونه از مخلوط‌کن‌های ساکن در شکل ۲۱-۳ نشان داده شده است. مزیت این مخلوط‌کن‌ها قابلیت استفاده در فرایندهای پیوسته است.



شکل ۲۱-۳- مخلوط‌کن ساکن

### مخلوط‌کننده‌های فاز جامد

مخلوط کردن جامدات به سه دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند:  
**اختلاط به روش نفوذ:** در این روش ضمن انجام دادن یک حرکت دورانی، ذرات جامد در یکدیگر نفوذ می‌کنند. یک نمونه از این دستگاه‌ها مخلوط‌کن V شکل است که در شکل ۲۲-۳ نمایش داده شده‌است.



شکل ۲۲-۳- دستگاه مخلوط‌کن V شکل

**اختلاط به روش جابه‌جایی:** در این روش با حرکت انتقالی پودر انواع جامدات، عمل مخلوط‌کردن انجام می‌شود؛ به عنوان مثال می‌توان به دستگاه‌های مخلوط‌کن روبانی و دستگاه مخلوط‌کن مارپیچ عمودی اشاره کرد که ساختمان آنها در شکل‌های ۲۳-۳ و ۲۴-۳ نمایش داده شده‌است.



شکل ۲۳-۳- دستگاه مخلوط‌کن روبانی



شکل ۲۴-۳- دستگاه مخلوط‌کن مارپیچ عمودی

اختلاط به روش ایجاد سیالیت: اگر مقداری جامد را به صورت پودر در یک ظرف استوانه‌ای بریزد و از میان آنها گاز عبور دهید، به تدریج با افزایش سرعت گاز و متناسب با سنگینی پودر، ذرات جامد از جای خود بلند می‌شوند و حالت سیالیت پیدا می‌کنند. در این حالت سرعت گاز به حدی است که در ذرات جامد آشفستگی و اختلاط لازم را پدید آورد؛ اما قادر نیست که ذرات را با خود همراه کند و از ظرف خارج نماید. یک نمونه از دستگاه‌های مخلوط‌کن بستر سیال<sup>۱</sup> در شکل ۲۵-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲۵-۳- دستگاه مخلوط‌کن بستر سیال

فیلم آموزشی مخلوط‌کننده بستر سیال را مشاهده کنید و سپس گزارش آن را تهیه کنید.

فیلم ۵





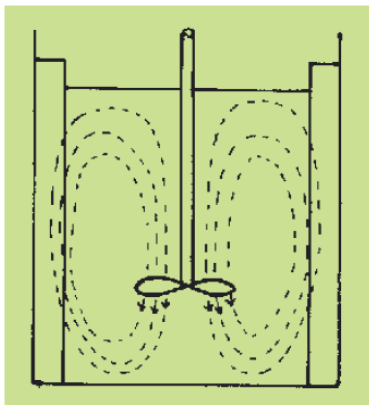
## ۳-۹ نقش پره‌ها در اختلاط و انواع آنها

انواع پره‌ها به شکل‌های مختلف برای هم‌زدن مایعات به کار برده می‌شوند. متداول‌ترین پره‌ها عبارت‌اند از: **پره‌های ملخی**<sup>۱</sup>: این نوع پره از متداول‌ترین انواع پره‌ها است. شکل ۳-۲۶ نمایی از این پره‌ها را نشان می‌دهد. از این نوع اغلب برای معلق کردن ذرات جامد در داخل سیال استفاده می‌شود و در گستره وسیعی از سرعت می‌تواند کار کند. این نوع پره برای مایعاتی با گرانروی کم به کار می‌رود. پره‌های ملخی به‌علت ایجاد جریان‌های پایدار، در مخزن‌های بسیار بزرگ کارایی خوبی دارند و قیمت آنها مناسب است.



شکل ۳-۲۶- پره ملخی

شکل ۳-۲۷ مسیر حرکت سیال را به هنگام دوران یک پره ملخی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این نوع پره، سیال را در امتداد محور به جریان می‌اندازد و به همین خاطر به این نوع پره جریان محوری نیز می‌گویند.



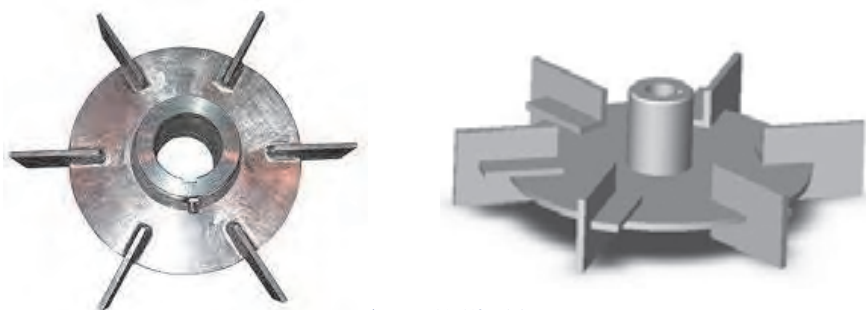
شکل ۳-۲۷- نمای جریان محوری در پره ملخی

در مواردی برای ایجاد آشفته‌گی بیشتر در مخزن و از بین بردن نقاط ساکن در گوشه‌های آن، هم‌زن را خارج از مرکز استوانه مخزن قرار می‌دهند. شکل ۳-۲۸ طرز قرار گرفتن هم‌زن در این حالت و تأثیر آن را نشان می‌دهد.



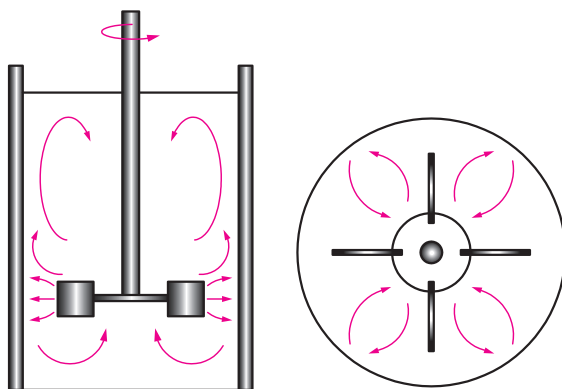
شکل ۳-۲۸- قرار دادن همزن خارج از مرکز و افزایش آشفته‌گی سیال

پره‌های توربینی<sup>۱</sup>: شکل ۳-۲۹- نمایی از این پره‌ها را نشان می‌دهد. در صنایع شیمیایی به‌خصوص برای مخلوط کردن گاز در مایع، این نوع پره مناسب‌ترین انتخاب است و در گستره وسیعی از سرعت می‌تواند کار کند. پره‌های توربینی در بازه گسترده‌ای از سیالات با گرانروی مختلف کاربرد دارد.



شکل ۳-۲۹- پره‌های توربینی

شکل ۳-۳۰- نشان می‌دهد که چگونه یک پره توربینی سیال را به جریان می‌اندازد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با حرکت این پره، سیال در امتداد شعاع ظرف (عمود بر محور) حرکت می‌کند و به همین دلیل به این نوع پره، جریان شعاعی نیز گفته می‌شود.



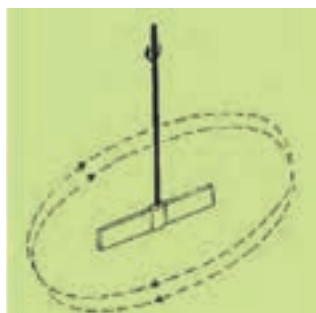
شکل ۳-۳۰- نمای بالایی و جانبی جریان شعاعی در پره توربینی

**پره پارویی<sup>۱</sup>:** شکل ۳-۳۱ نمایی از پره‌های پارویی را نشان می‌دهد. این نوع پره از یک محور و یک پره به شکل پارو تشکیل شده است. در طیف وسیعی از گران‌روی‌ها مناسب است و به سادگی خراب نمی‌شود. از لحاظ قیمت ارزان و ساخت آن ساده است. در ظرف‌های عمیق چند پارو روی یک محور نصب می‌شود. یکی از مهم‌ترین کاربردهای این نوع از پره‌ها، استفاده برای انتقال گرما است.



شکل ۳-۳۱- پره‌های پارویی

شکل ۳-۳۲، چگونگی حرکت سیال را به هنگام چرخش پره پارویی نشان می‌دهد. این پره سیال را مماس بر دایره مسیر به جریان می‌اندازد. به همین دلیل به این نوع پره، جریان مماسی نیز می‌گویند.



شکل ۳-۳۲- نمای جریان مماسی در پره پارویی

فیلم آموزشی پره‌های پارویی را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

فیلم ۶



**پره‌های لنگری<sup>۲</sup> و حلزونی<sup>۳</sup>:** شکل ۳-۳۳ نمایی از پره‌های لنگری و حلزونی را نشان می‌دهد. این دو نوع پره برای هم‌زدن مایعات با گران‌روی زیاد و حتی خمیرها به کار می‌روند. فاصله این پره‌ها با دیواره ظرف کم است و به این ترتیب با چرخش خود از چسبیدن سیال به دیواره‌های ظرف جلوگیری می‌شود. سرعت دوران این نوع هم‌زن‌ها نسبتاً پایین است.

- ۱- Paddle
- ۲- Anchor
- ۳- Helical



شکل ۳-۳۳- پره حلزونی و پره لنگری

فیلم آموزشی انواع پره‌ها و مقایسه عملکرد آنها را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

فیلم ۷



با راهنمایی مربی خود انواع پره‌ها را از نظر ظاهری و عملکرد با هم مقایسه کنید و جدول زیر را تکمیل کنید:

موارد کاربرد	نوع پره
	ملخی
	توربینی
	پارویی
	لنگری
	حلزونی

فعالیت گروهی ۱





- ۱- پیش از شروع به کار هم‌زن‌ها از محکم بودن اتصالات اطمینان حاصل کنید.
- ۲- دقت کنید که بخش موتور هم‌زن خیس نشود و در صورت خیس شدن سریعاً آن را خشک کنید.
- ۳- از دست زدن به دستگاه در هنگام کار خودداری کنید، هیچ‌گاه هم‌زن را به سمت دوستان خود نگیرید و از شوخی کردن در هنگام کار پرهیز کنید. به خاطر داشته باشید که گاه یک شوخی دوستانه می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری در پی داشته باشد.
- ۴- پس از پایان کار پره‌ها را تمیز کنید و در جای خود قرار دهید.

### ۳-۱۰ سانتریفیوژها

اولین بار یک مهندس ارتش انگلیس، بنیامین رابینز (۱۷۰۷-۱۷۵۱) بازوی چرخشی را اختراع کرد که میزان جابه‌جایی جسم‌ها را اندازه می‌گرفت. در سال ۱۸۶۴ آنتونی پراندی اولین سانتریفیوژ به معنای کنونی را برای جدا کردن شیر و خامه اختراع کرد. در سال ۱۸۷۹ گوستاو لاوال اولین جداساز خودکار و تجاری را ساخت. شکل ۳-۳۴ اولین سانتریفیوژ قرن هفدهم را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۴- سانتریفیوژ اولیه در قرن ۱۷

سانتریفیوژ دستگاهی است که در آن با استفاده از نیروی گریز از مرکز مواد را از یکدیگر جدا می‌کند. معمولاً دستگاه سانتریفیوژ را برای جدا کردن ذرات جامد از یک مایع و یا تقسیم مخلوط مایعات با چگالی متفاوت به اجزای مختلف آن به کار می‌گیرند. سانتریفیوژها برای مخلوط‌هایی مناسب هستند که یا شامل ذرات ریز جامداند و یا مایعاتی دارند که چگالی آنها نزدیک به هم است و به راحتی جدا نمی‌شوند.

معرفی و عملکرد سانتریفیوژها را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

فیلم ۸



با توجه به فیلم، مزیت استفاده از سانتریفیوژ به روش ته نشینی ساده چیست؟ در مورد عملکرد سانتریفیوژ بحث کنید؟

پرسش ۱

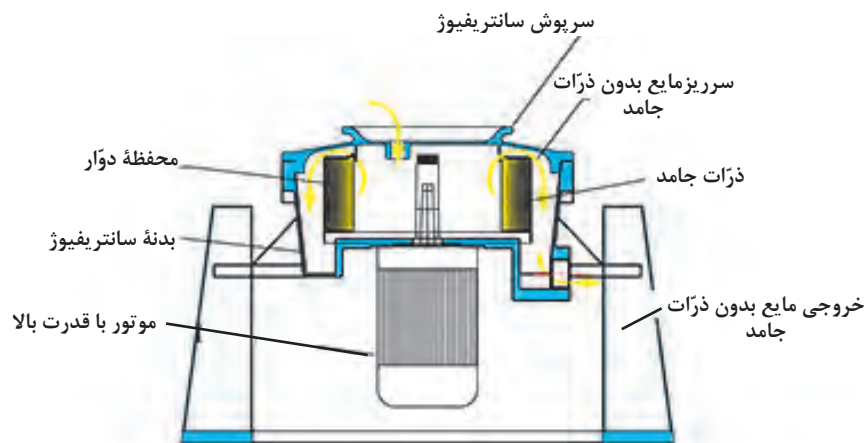


چند نمونه از کاربردهای سانتریفیوژها را در زندگی نام ببرید؟

فکر کنید ۴



شکل ۳-۳۵ اجزای یک نمونه سانتریفیوژ صنعتی را نشان می دهد:



شکل ۳-۳۵ - اجزای یک نمونه سانتریفیوژ صنعتی

نمونه هایی از کاربردهای سانتریفیوژها عبارتند از:

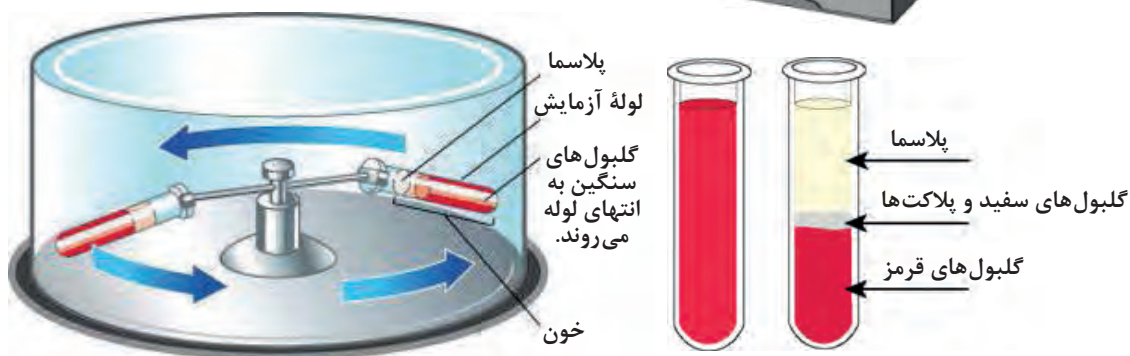
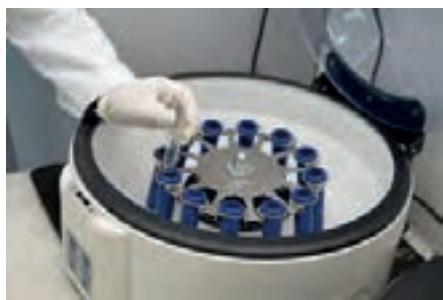
- ۱- جداسازی ذرات گرد و غبار از هوا؛
- ۲- خشک کردن بلورها؛
- ۳- جداسازی امولسیون های مایعات و یا مخلوط های مایع و جامد؛
- ۴- کاربرد در صنایع غذایی مانند روغن های گیاهی، آبمیوه ها، جداسازی خامه از شیر.



به کمک مربی خود قطعات یک دستگاه سانتریفیوژ را بررسی کنید.

### سانتریفیوژهای آزمایشگاهی

یکی دیگر از موارد استفاده از سانتریفیوژ، در پزشکی، و تجزیه و تحلیل نمونه‌های خونی است. زمانی که نمونه خونی در دستگاه سانتریفیوژ قرار می‌گیرد، دستگاه شروع به چرخش بسیار سریع می‌کند و در ادامه، عناصر سازنده خون از یکدیگر جدا می‌شوند؛ طوری که گلبول‌های قرمز در لایه پایینی و گلبول‌های سفید و پلاکت‌ها در لایه میانی و پلاسما در لایه بالایی قرار می‌گیرند (شکل ۳-۳۶).



شکل ۳-۳۶- سانتریفیوژ آزمایشگاهی



- ۱- پیش از قرار دادن لوله‌ها در دستگاه سانتریفیوژ آزمایشگاهی، ابتدا آنها را از نظر ترک یا شکستگی کنترل کنید.
- ۲- لوله‌ها را به صورت برابر و متقارن در سانتریفیوژ قرار دهید به طوری که با هم متعادل باشند. در غیر این صورت باعث ارتعاش، سایش و شکستن لوله‌ها می‌شود.
- ۳- پیش از روشن کردن دستگاه از قفل بودن در آن اطمینان حاصل کنید و در پایان کار پیش از توقف کامل سانتریفیوژ، در دستگاه را باز کنید و لوله‌ها را به آرامی بیرون بیاورید.

### استفاده از سانتریفیوژها در صنعت

در صنایع مختلف، سانتریفیوژهای صنعتی با موتورهای قوی و در اندازه بزرگ برای جداسازی مواد به کار می‌رود (شکل ۳۷-۳). استفاده در صنعت هوانوردی، صنایع غذایی، شیمیایی و صنایع هسته‌ای از جمله کاربردهای صنعتی سانتریفیوژها است.



شکل ۳۷-۲- سانتریفیوژ صنعتی



فرض کنید که مخلوطی از آب، نفت و ذرات معلق جامد دارید، برای جداسازی آنها از دو روش ته‌نشینی و سانتریفیوژ کردن استفاده می‌شود، چیدمان فازها را در دو حالت رسم کنید.



## ۳-۱۱- دستگاه‌های کاهش اندازه مواد

یکی دیگر از دستگاه‌های صنعتی، دستگاه کاهش اندازه مواد است که در شکل ۳-۳۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۸- دستگاه کاهش اندازه مواد

فیلم دستگاه‌های کاهش اندازه مواد را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

فیلم ۹



به نظر شما، هدف از کاهش اندازه ذرات در صنایع شیمیایی چیست؟

بحث کنید ۴



معمولاً واژه کاهش اندازه درباره مواد جامد شکسته شده که به ذرات کوچک‌تر تبدیل شده‌اند، به کار می‌رود. در صنایع مختلف، کاهش اندازه جامدات با روش‌های مختلف و برای اهداف گوناگون انجام می‌شود. به‌طور مثال در صنایع معدن، قطعات بزرگ سنگ معدن را به اندازه‌های کوچک‌تر خرد می‌کنند؛ در صنایع داروسازی مواد شیمیایی مختلف را آسیاب می‌کنند؛ در صنایع بازیافت، قطعات پلاستیکی و کاغذی را به اندازه‌های معین برش می‌دهند.

مهم ترین روش های کاهش اندازه عبارت اند از:

- ۱- تحت فشار قرار دادن جامد بین دو سطح ( متراکم کردن )
- ۲- ضربه زدن به ماده جامد
- ۳- ساییدن جامد بین دو سطح
- ۴- برش دادن جامد

برای هر یک از روش های کاهش اندازه، یک مثال بیان کنید.

بحث کنید ۵



استفاده از هاون چینی در آزمایشگاه برای کاهش اندازه ذرات، مطابق با کدام یک از روش های بالا است؟

پرسش ۳



هاون چینی و شیوه حرکت دست برای کاهش اندازه جامدات

زمانی که اندازه قطعات جامد درشت باشد، از روش متراکم کردن استفاده می شود. برای تولید ذراتی با اندازه متوسط و ریز از روش ضربه زدن و برای تولید ذرات خیلی نرم و ریز از روش سایش استفاده می شود. برای تولید ذرات با شکل و اندازه معین، روش برش دادن به کار گرفته می شود.

به نظر شما استفاده از روش برش دادن، برای چه نوع موادی مناسب است؟

پرسش ۴



## ویژگی‌های دستگاه‌های کاهش اندازه عبارت‌اند از:

- ۱- ظرفیت بالایی داشته باشد؛
  - ۲- مصرف انرژی کمی داشته باشد؛
  - ۳- اندازه ذرات تولید شده توسط آن یکنواخت باشد.
- دستگاه‌های کاهش اندازه معمولاً راندمان پایینی دارند. یعنی به ازای مصرف انرژی بالا محصول حاصل از آنها اندازه‌های یکسانی ندارند. ذراتی با اندازه‌های بزرگ تا اندازه‌های خیلی کوچک تولید می‌شوند. وجود ذرات بسیار ریز در این دستگاه‌ها غیر قابل کنترل است ولی می‌توان آن را به کمترین مقدار ممکن رساند.

## ۱۲-۳ طبقه‌بندی دستگاه‌های کاهش اندازه

طبقه‌بندی دستگاه‌های کاهش اندازه در شکل ۳-۳۹ آورده شده است.



شکل ۳-۳۹- طبقه‌بندی دستگاه‌های کاهش اندازه

## خردکن‌ها

فیلم آموزشی خردکن‌ها را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

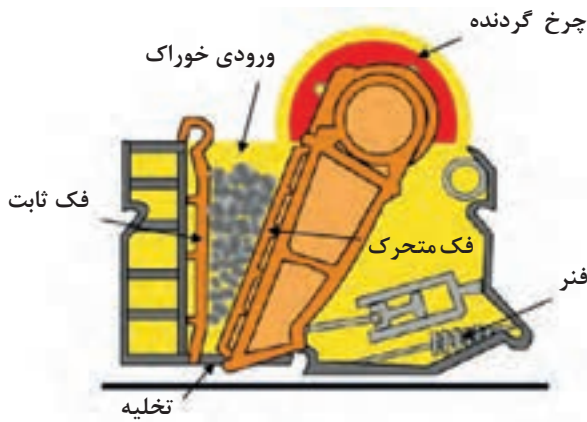
فیلم ۱۰



خردکن‌ها ماشین‌هایی با سرعت کم هستند و برای خرد کردن جامدات بزرگ و تبدیل آنها به ذراتی با اندازه‌های ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر به کار می‌روند. در ادامه درباره دو نوع از معمول‌ترین خردکن‌ها توضیح داده می‌شود.

## خردکن فکی

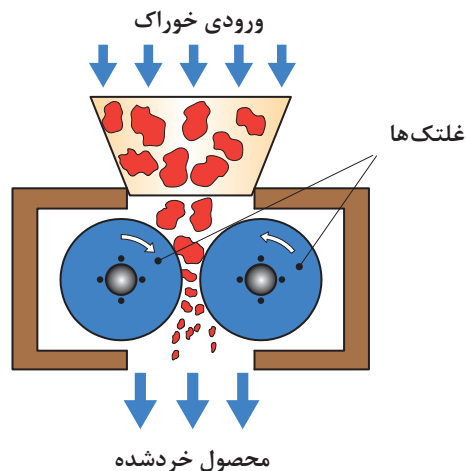
در این نوع خردکن (شکل ۳-۴۰)، خوراک (سنگ معدن) بین دو فک که با یکدیگر شکل V می‌سازند، قرار می‌گیرد. یکی از فک‌ها ثابت است که تقریباً عمودی است و دیگری متحرک است و در یک صفحه افقی عقب و جلو می‌رود. سطح فک‌ها می‌تواند صاف یا شیاردار باشد. کلوخه‌هایی که بین فک‌ها گیر می‌افتند، تحت نیروی فشاری بزرگی قرار می‌گیرند و شکسته می‌شوند و در فضای تنگ‌تری می‌ریزند و با بسته شدن فک دوباره خرد می‌شوند. پس از کاهش اندازه ذرات به اندازه کافی، از قسمت پایین دستگاه به پایین می‌ریزند. فک‌ها در هر دقیقه ۲۵۰ تا ۴۰۰ بار باز و بسته می‌شوند. گلوگاه این نوع خردکن با توجه به کاهش اندازه مطلوب، قابل تنظیم است.



شکل ۳-۴۰- خردکن فکی

## خردکن غلتکی

قسمت‌های اصلی این خردکن از دو غلتک فلزی سنگین تشکیل شده است که روی محور افقی موازی می‌چرخند. شکل ۳-۴۱ نشان‌دهنده این نوع خردکن‌هاست. قطعات بزرگ‌تر وارد غلتک می‌شوند و پس از خرد شدن از پایین خارج می‌شوند. دو غلتک معمولاً به طرف یکدیگر و با سرعت مساوی می‌چرخند.



شکل ۳-۴۱- خردکن غلتکی

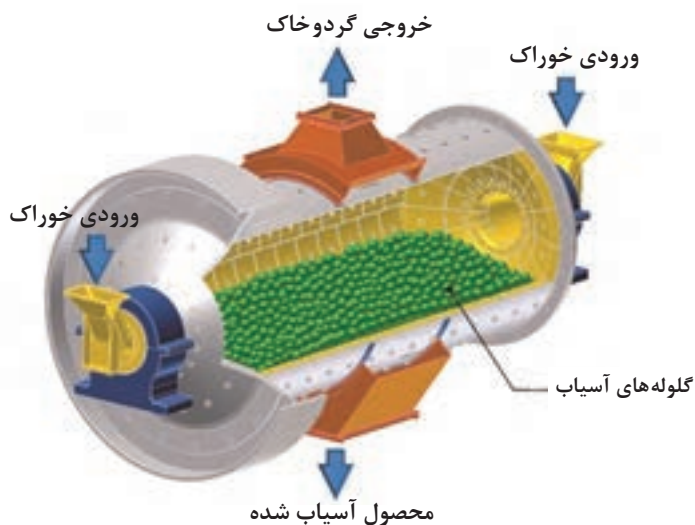
قطر غلتک‌ها را معمولاً زیاد و فاصله بین آنها را کم در نظر می‌گیرند؛ به طوری که این نوع خردکن‌ها قادرند که قطعات بزرگ را به قطعات کوچک‌تر تبدیل کنند. قطر این نوع غلتک‌ها از ۶۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند و معمولاً با سرعت ۵۰ تا ۳۰۰ دور در دقیقه می‌چرخند.

طبیعی است که اندازه خرده‌های به دست آمده بستگی به فاصله بین غلتک‌ها دارد. در این نوع خردکن‌ها مقدار کمی محصول نرم، به صورت پودر نیز تولید می‌شود. در خردکن‌های غلتکی نیروی اعمال شده از غلتک‌ها بسیار بالاست. وقتی مواد غیر قابل خرد شدن وارد این دستگاه بشوند، برای جلوگیری از صدمات وارده به غلتک‌ها معمولاً یکی از غلتک‌ها را به فنر متصل می‌کنند.

### آسیاب‌ها

**آسیاب‌ها:** محصولات خروجی خردکن‌ها معمولاً خوراک ورودی آسیاب‌ها را تشکیل می‌دهد و هدف آسیاب‌ها در واقع خرد کردن ذرات متوسط و تولید ذرات ریزتر است. در این جا تنها به تشریح نمونه مرسوم آسیاب‌ها پرداخته می‌شود که بیشتر در صنایع شیمیایی کاربرد دارد.

**آسیاب دوآر:** شکل ۳-۴۲ آسیاب دوآر را نشان می‌دهد. این آسیاب از یک استوانه دوآر تشکیل شده است که در حالت ساکن، حدود نیمی از حجم داخل آن را با مواد ساینده پر می‌کنند. جنس این استوانه معمولاً از فولاد است که برای جلوگیری از سایش، سطح داخلی آن را از ورقه‌های فولاد سخت، چینی، سیلیس و یا حتی لاستیک می‌پوشانند. این استوانه با سرعت کم به دور محور افقی خود می‌چرخد. مواد ساینده آسیاب دوآر می‌تواند به صورت میله یا ساچمه از جنس‌های فلزی، لاستیکی و یا چرمی باشد. حتی گاهی از سنگ‌های چخماق یا گلوله‌هایی از جنس چینی به عنوان مواد ساینده استفاده می‌کنند.



شکل ۳-۴۲- آسیاب دوآر

آسیاب‌های دوار می‌توانند هم به صورت پیوسته<sup>۱</sup> و هم به صورت ناپیوسته<sup>۲</sup> کار کنند. در آسیاب‌های ناپیوسته مقدار معینی از ذرات درشت را از دهانه استوانه به داخل آن می‌ریزند، سپس دهانه استوانه را می‌بندند و آسیاب را برای مدتی طولانی می‌چرخانند. پس از آن آسیاب را متوقف می‌کنند و محصولات آن را خارج می‌کنند. در آسیاب‌های پیوسته، اجسام با حرکت مستمر و یکنواخت از مسیر مشخصی وارد و پس از آسیاب شدن از مسیر دیگری خارج می‌شوند. اساس کار آسیاب‌های دوار بر این است که در اثر حرکت چرخشی استوانه مواد ساینده از کنار استوانه تا نزدیک سقف استوانه بالا می‌آیند و در آنجا در اثر نیروی وزن روی ذراتی که در کف استوانه است، فرو می‌افتند. در بعضی از آسیاب‌های دوار به‌جای گلوله از میله به‌عنوان عامل ساینده استفاده می‌شود. در آسیاب‌های میله‌ای دوار، قسمت اعظم خرد شدن در اثر فشار و سایش در هنگام غلتیدن میله‌ها روی یکدیگر انجام می‌گیرد، ولی در آسیاب‌های ساچمه‌ای دوار یا قلوه سنگی دوار قسمت اعظم خرد شدن در اثر برخورد در هنگام ریزش قلوه‌سنگ‌ها یا گلوله‌ها از بالای استوانه صورت می‌گیرد. در آسیاب‌های گلوله‌ای معمولاً قطر استوانه را حدود ۳ متر و طول آنها را حدود ۳/۵ متر در نظر می‌گیرند. قطر گلوله‌ها بین ۲/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند.



شکل ۴۳-۳. نمایی از سطح مقطع آسیاب دوار (گلوله‌ای)

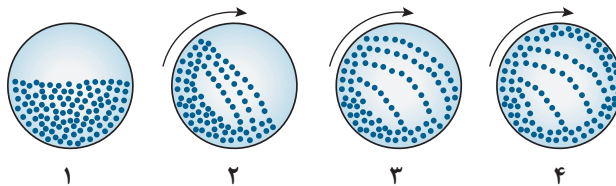
گلوله‌ها در اثر حرکت استوانه به‌طرف بالا حمل می‌شوند و هر چه آسیاب با سرعت بیشتری بچرخد، گلوله‌ها تا ارتفاع زیادتری بالا می‌روند و هر چه گلوله‌ها از ارتفاع بیشتری سقوط کنند، شدت اصابت با کف آسیاب افزایش می‌یابد و بازده آسیاب کردن بالاتر می‌رود. باید به این نکته توجه کرد که اگر سرعت آسیاب کردن از حدی بگذرد دیگر گلوله‌ها ریزش نمی‌کنند و در استوانه فقط از نقطه‌ای به نقطه دیگر منتقل می‌شوند. در این حالت در آسیاب نیروی گریز از مرکز بر نیروی جاذبه غالب می‌شود. سرعت این مرحله را سرعت بحرانی می‌گویند. در حالت بحرانی عمل خرد شدن انجام نمی‌گیرد، لذا سرعت آسیاب در شرایط عملیاتی همواره باید کمتر از سرعت بحرانی باشد.

۱- Continuous

۲- Batch



شکل زیر سطح مقطع یک آسیاب گلوله‌ای را نشان می‌دهد که نیمی از آن با گلوله‌های سائیده پر شده است. این آسیاب شروع به چرخش می‌کند و سرعت آن افزایش می‌یابد در شکل سرعت چرخش آسیاب تا اندازه‌ای است که تعدادی از گلوله‌ها به دیواره آسیاب چسبیده و ریزش نمی‌کنند. به نظر شما علت آن چیست؟ و چه تاثیری بر بازده آسیاب دارد؟



یک کارخانه سیمان را در نظر بگیرید. تحقیق کنید آسیاب استفاده شده در این کارخانه از چه نوعی است و چگونه کار می‌کند. گزارش تهیه شده را در کلاس ارائه دهید.

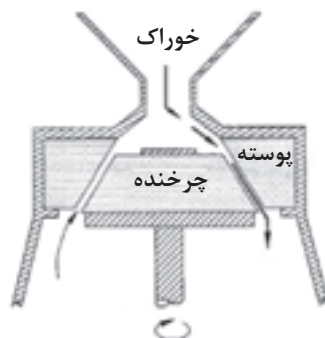


## آسیاب‌های بسیار نرم‌کن

بسیاری از پودرهای تجاری باید شامل ذراتی باشند که اندازه آنها به طور میانگین ۱ تا ۲۰ میکرومتر است. به آسیاب‌هایی که جامدات را تا این اندازه خرد می‌کنند، آسیاب‌های بسیار نرم‌کن یا فوق‌ریز گفته می‌شود، یک نوع از این آسیاب‌ها آسیاب کلوییدی است.

## آسیاب کلوییدی

در این نوع آسیاب، برخلاف دستگاه‌های کاهش اندازه اشاره شده، خوراک به صورت یک محلول کلوییدی است. بدین صورت که ابتدا جسم جامد را درون یک مایع به صورت کلویید درمی‌آورند و سپس خوراک مایع بین سطح چرخنده و پوسته که فاصله نزدیکی دارند، جریان می‌یابد. شکل ۳-۴۴ طرح ساده‌ای از آسیاب کلوییدی را نشان می‌دهد.

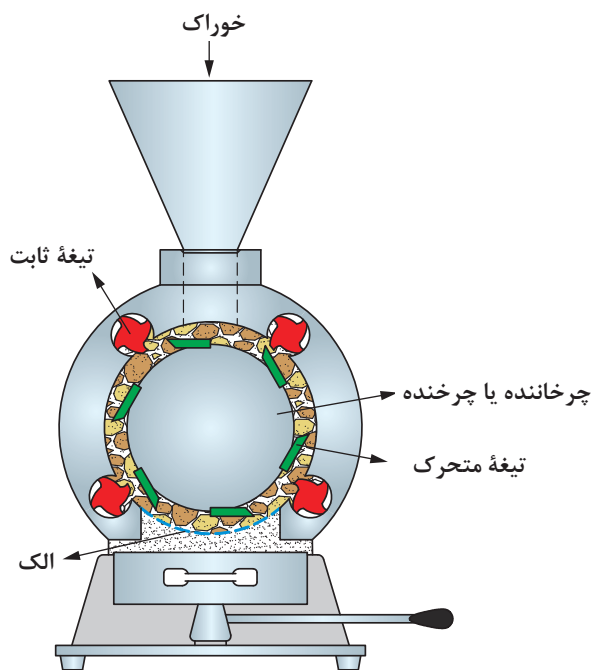


شکل ۳-۴۴- طرح ساده‌ای از آسیاب کلوییدی

به‌طور مثال در صنایع غذایی ذرات چربی موجود در شیر را به این روش به ذراتی بسیار ریز تبدیل می‌کنند و در نتیجه شیر تبدیل به امولسیون پایدار می‌شود و چربی آن جدا نمی‌شود.

**ماشین‌های برش:** در بعضی از مواقع که قطعات جامدات بسیار محکم (مانند فولاد و آهن) و یا انعطاف‌پذیر (مانند پلاستیک، پارچه و کاغذ) هستند، اعمال فشار، ضربه یا سایش منجر به کاهش اندازه آنها نمی‌شود. این نوع مواد توسط ماشین‌های برش به‌وسیله تیغه‌های برنده به قطعات ریزتر تبدیل می‌شوند. در شکل ۳-۴۵ یک نمونه از ماشین‌های برش نشان داده شده است. این ماشین برش دارای یک محفظه استوانه‌ای است که درون آن چرخاننده‌ای با سرعت ۲۰۰ تا ۹۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد. روی این چرخاننده تعدادی تیغه یا کاردک از جنس فولادآبدیده نصب شده است که به فاصله نزدیکی از روی تیغه‌های ثابت موجود در سطح داخلی استوانه عبور می‌کند و عمل بریدن را انجام می‌دهند.

ذرات خوراک که از بالا وارد محفظه می‌شوند، چند صد بار در دقیقه برش می‌خورند و در پایین دستگاه از الکی با سوراخ‌های مناسب عبور می‌کنند. تیغه‌های متحرک با تیغه‌های ثابت می‌توانند موازی یا دارای زاویه باشند.



شکل ۳-۴۵- طرح ساده‌ای از ماشین برش

سازوکار استفاده شده در هر یک از دستگاه‌های کاهش اندازه زیر را مشخص کنید.

پرسش ۶



انداژه دستگاه کاهش اندازه	متراکم کردن	برش دادن	ساییدن	ضربه زدن
خردکن فکی				
خردکن غلتکی				
آسیاب گلوله‌ای				
ماشین برش				



## عملکرد دستگاه‌های کاهش اندازه

انتخاب مناسب دستگاه کاهش اندازه و به‌کارگیری اقتصادی آن از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور نکات زیر را در به‌کارگیری از آنها باید رعایت کرد:

- ۱- خوراک ورودی به دستگاه اندازه مناسب آن دستگاه را داشته باشد و با سرعت یکنواختی وارد آن شود؛
- ۲- پس از کاهش اندازه ذرات به میزان مناسب، بلافاصله از دستگاه خارج شوند؛
- ۳- مانع از ورود مواد غیر قابل خردشدن به دستگاه شود؛
- ۴- در هنگام کار با مواد حساس به دما، گرمای حاصل از آسیاب کردن از آن گرفته شود، تا ماهیت مواد عوض نشود؛
- ۵- تمام دستگاه‌های جانبی از قبیل پمپ‌ها، دمنده‌ها، سردکن‌ها و جداکننده‌ها در شرایط عملیاتی مناسب کار کنند.

در دستگاه‌های کاهش اندازه ذرات جامد، کنترل گرد و غبار خروجی از دستگاه اهمیت بالایی دارد؛ مثلاً اگر ماده مورد نظر سمی باشد یا سازگار با محیط زیست نباشد، گرد و غبار حاصل از کاهش اندازه آن می‌تواند برای محیط زیست و انسان خطرناک باشد. یکی از روش‌های کنترل گرد و غبار، استفاده از صافی‌ها در خروجی دستگاه است.

پرسش ۷



فعالیت کارگاهی ۵



مواد لازم	وسایل لازم
خاک حاوی ذرات درشت و ریز	مجموعه الک‌ها با اندازه‌های مختلف، لرزاننده، ترازو و آسیاب گلوله‌ای

## روش کار

- ۱- مقداری خاک را که حاوی ذرات ریز و درشت است، تهیه کنید؛
- ۲- خاک را وزن کنید و جرم آن را یادداشت کنید؛
- ۳- الک‌های موجود در آزمایشگاه را تمیز کنید و به ترتیب اندازه مش<sup>۱</sup> از بزرگ به کوچک روی هم قرار دهید و به هم متصل کنید؛
- ۴- مجموعه الک‌ها را روی یک دستگاه لرزاننده قرار دهید و خاک را بر روی الک بالایی بریزید؛
- ۵- لرزاننده را روشن کنید تا به مدت ۳۰ دقیقه کار کند؛
- ۶- لرزاننده را خاموش کنید و الک‌ها را از هم جدا کنید؛
- ۷- جرم دانه‌های خاک باقی‌مانده بر روی هر الک را اندازه بگیرید و یادداشت کنید؛

۸- با توجه به تعریف کسر جرمی و درصد جرمی که در پودمان اول یاد گرفتید، جدول زیر را کامل کنید.

اندازهٔ مش الک	جرم خاک باقی‌مانده بر روی الک	کسر جرمی خاک باقی‌مانده روی الک	درصد جرمی خاک باقی‌مانده روی الک

۹- تمام خاک باقی‌مانده بر روی الک‌ها را جمع کنید و دوباره مخلوط کنید؛

۱۰- آسیاب گلوله‌ای موجود در آزمایشگاه را تمیز کنید و نصف حجم آن را با گلوله‌های سرامیکی پر کنید؛

۱۱- مقدار مناسبی از خاک را با توجه به حجم آسیاب گلوله‌ای موجود در آزمایشگاه بردارید و وزن کنید و به درون آسیاب بریزید؛

۱۲- آسیاب گلوله‌ای را با کمترین سرعت روشن کنید و به تدریج سرعت آن را افزایش دهید. توجه کنید که نیروی گریز از مرکز مانع از غلتیدن گلوله‌ها نشود. سرعت در حدی باشد که گلوله‌ها آزادانه بغلتند؛

۱۳- پس از مدت ۳۰ دقیقه آسیاب را خاموش کنید و خاک درون آن را خالی کنید؛

۱۴- خاک بدست‌آمده را دوباره با الک‌ها دانه‌بندی کنید و جدول زیر را کامل کنید؛

(بعد از آسیاب)

اندازهٔ مش هر الک	جرم خاک باقی‌مانده بر روی الک	کسر جرمی خاک باقی‌مانده روی الک	درصد جرمی خاک باقی‌مانده روی الک

۱۵- برای نشان دادن تأثیر آسیاب گلوله‌ای بر اندازهٔ ذرات، نمودار «درصد جرمی خاک باقی‌مانده روی الک» را بر حسب «اندازهٔ مش» رسم کنید.

۱۶- نمودارها را با هم مقایسه کنید و تأثیر آسیاب گلوله‌ای را توضیح دهید.



از وسایل ایمنی شخصی (دستکش، روپوش و عینک) استفاده کنید؛  
به هنگام کار با خاک حتماً از ماسک استفاده کنید؛  
قبل از روشن کردن آسیاب، از بسته بودن در آن اطمینان حاصل کنید.

### پرسش‌ها:

- ۱- به چه دلیل در صنعت از فرایندهای کاهش اندازه استفاده می‌شود؟
- ۲- سازوکارهای کاهش اندازه را نام ببرید.
- ۳- در صنعت بازیافت پلاستیک، پارچه و کاغذ از کدام سازوکار برای کاهش اندازه مواد استفاده می‌شود؟
- ۴- دستگاه‌های کاهش اندازه به چند دسته طبقه‌بندی می‌شوند؟ نام ببرید.
- ۵- دستگاه‌های کاهش اندازه مواد چه ویژگی‌هایی باید داشته باشند؟
- ۶- روش کار خردکن فکی را توضیح دهید.
- ۷- سازوکارهای اصلی کاهش اندازه در آسیاب دوآر کدام‌اند؟
- ۸- عملکرد آسیاب‌های دوآر در شرایط سرعت بحرانی به چه صورت است؟ و چه تأثیری بر بازده آسیاب دارد؟
- ۹- چه نکاتی را در به کارگیری دستگاه‌های کاهش اندازه باید در نظر گرفت؟

## ارزشیابی شایستگی پودمان دستگاه‌های دوار

### شرح کار:

- چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده‌شده را با دقت انجام دهد؛
- هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند؛
- پس از انجام دادن کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

### استاندارد عملکرد:

- توانایی کار با پمپ‌ها، دستگاه‌های کاهش اندازه مواد، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفیوژها مطابق با دستور کار.

### شاخص‌ها:

- رعایت مسایل ایمنی در هنگام انجام دادن کار؛
- انجام دادن کار طبق دستور کار.

### شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه      زمان: یک جلسه آموزشی.  
**ابزار و تجهیزات:** وسایل ایمنی شخصی، پمپ‌ها، دستگاه‌های کاهش اندازه مواد، مخلوط‌کن‌ها و سانتریفیوژها.

### معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	کار با پمپ‌ها	۲	
۲	کار با مخلوط‌کن‌ها	۲	
۳	کار با سانتریفیوژها	۱	
۴	کار با دستگاه‌های کاهش اندازه	۱	
شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:			
۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی؛			
۲- نگرش:			
۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛			
۴- شایستگی‌های غیرفنی:			
۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی،			
۵- مستندسازی: گزارش نویسی.			
میانگین نمرات			*

\* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

## پودمان ۴

# راکتور و مخازن



بخش اصلی در یک واحد شیمیایی، واکنش شیمیایی است که در راکتور انجام می‌شود، در بیشتر فرایندهای صنایع شیمیایی، خوراک یا محصولات فرایند می‌بایست ذخیره و نگهداری شوند، لذا انواع مخزن‌های ذخیره‌سازی استفاده می‌شود.

## واحد یادگیری ۴

### راکتور و مخازن

#### مقدمه

راکتورهای شیمیایی از بخش‌های اصلی یک واحد صنعتی شیمیایی هستند که در آن واکنش‌های شیمیایی انجام می‌شوند. در این پودمان سرعت واکنش، عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌های شیمیایی و انواع راکتورهای شیمیایی بررسی می‌شوند. مخازن ذخیره‌سازی دارای کاربرد گسترده‌ای در بیشتر صنایع هستند و برای نگهداری گازها و مایعات استفاده می‌شوند. در ادامه این پودمان به معرفی مخازن ذخیره‌سازی مایعات و انواع آن پرداخته می‌شود و همچنین تعیین نقطه اشتعال، ایمنی و کار با مخازن ذخیره‌سازی ارائه خواهد شد.

#### استاندارد عملکرد

تعیین سرعت واکنش، کار با راکتورهای شیمیایی و مخازن ذخیره طبق دستورکار شایستگی‌های غیرفنی:

- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محول، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضوری فعال در فعالیت‌های گروهی، انجام کارها و وظایف محول؛
- ۴- مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛
- ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

- ۱- تعیین سرعت واکنش‌ها؛
- ۲- کار با راکتورهای شیمیایی؛
- ۳- کار با مخازن ذخیره.

## ۱-۴- درصد تبدیل در واکنش‌های شیمیایی

واکنش شیمیایی فرایندی است که طی آن یک یا چند ماده به مواد دیگر تبدیل می‌شوند، بنابراین با یک واکنش شیمیایی مواد اولیه یا ترکیب‌شونده‌ها به محصولات با ارزش اقتصادی بالا تبدیل می‌شوند. از این واکنش‌ها به واکنش تولید بنزین و گازوئیل در پالایشگاه‌های نفت، تولید پودرهای ماشین لباس‌شویی در کارخانه‌های صنایع شوینده، تولید دارو در کارخانه‌های تولید دارو و تولید مواد غذایی در کارخانه‌های صنایع غذایی و غیره می‌توان اشاره کرد. به دستگاهی که واکنش شیمیایی در آن صورت می‌گیرد، واکنشگاه یا راکتور<sup>۱</sup> گفته می‌شود.

پرسش ۱



### درصد تبدیل ترکیب‌شونده<sup>۲</sup>:

واکنش شیمیایی  $A \rightarrow C$  در یک راکتور با ۱۰ مول از ماده اولیه A آغاز می‌شود، مقدار مول ماده A موجود در واکنش پس از ۱۰۰ دقیقه، ۲۰۰ دقیقه و ۳۰۰ دقیقه از شروع واکنش، کدام یک می‌تواند باشد؟

الف) ۸ مول، ۶ مول، ۷ مول

ب) ۱۰ مول، ۸ مول، ۷ مول

پ) ۸ مول، ۶ مول، ۴ مول

ت) ۴ مول، ۶ مول، ۸ مول

در یک راکتور شیمیایی درصد تبدیل یک ترکیب‌شونده از تقسیم مقدار مول مصرفی بر مقدار مول اولیه<sup>۱</sup> ترکیب‌شونده ضرب در عدد ۱۰۰، به دست می‌آید. اگر واکنش شیمیایی A در حال انجام باشد، میزان درصد تبدیل ترکیب‌شونده A مطابق با معادله (۱) محاسبه می‌شود.

$$(1) \quad \text{درصد تبدیل ترکیب‌شونده A} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی ماده A}}{\text{تعداد مول اولیه ماده A}} \times 100$$

**مثال ۱:** واکنش  $A \rightarrow C$  با ۱۰ مول از ترکیب‌شونده A در یک راکتور آغاز می‌شود. پس از گذشت دو ساعت از شروع واکنش، سه مول از A در راکتور باقی می‌ماند. درصد تبدیل ماده A در این راکتور چند درصد است؟ **پاسخ:** مطابق با معادله (۱)، می‌بایست در ابتدا تعداد مول مصرفی تعیین شود. برای این منظور می‌توان تعداد مول باقی مانده را از تعداد مول اولیه کم کرد.

تعداد مول باقی مانده = تعداد مول اولیه - تعداد مول مصرفی

$$10 - 3 = 7 \text{ mol} = \text{تعداد مول مصرفی}$$

$$\text{درصد تبدیل ترکیب‌شونده} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی ماده A}}{\text{تعداد مول اولیه ماده A}} \times 100 = \frac{7}{10} \times 100 = 70\%$$

۱- Reactor

۲- Conversion Percent



۱- به نظر شما در پایان واکنش در مثال ۱ میزان درصد تبدیل چند درصد خواهد شد؟ توضیح دهید؟  
 الف) ۸۰ (ب) ۶۰ (پ) ۳۰ (ت) ۱۰۰  
 ۲- میزان درصد تبدیل ماده A را در زمان‌های مختلف برای پرسش ۱ تعیین کنید.

## ۲-۲- سرعت واکنش شیمیایی

سرعت یک واکنش، میزان پیشرفت واکنش و روند تبدیل مواد ترکیب‌شونده به محصول را در مدت زمان معین نشان می‌دهد. سرعت واکنش یکی از مهم‌ترین مباحث در علم شیمی است؛ لذا شیمی دانان همیشه دنبال راهی هستند که سرعت واکنش را بالا ببرند. مطالعهٔ سرعت یک واکنش شیمیایی<sup>۱</sup>، باعث ایجاد شاخه‌ای در علم شیمی به نام سینتیک<sup>۲</sup> شده است. به‌طور کلی سرعت یک واکنش شیمیایی از تقسیم تغییرات غلظت مادهٔ ترکیب‌شونده بر مدت زمان معین مطابق معادلهٔ (۲) به‌دست می‌آید.

$$\text{سرعت واکنش} = \frac{\text{تغییرات غلظت ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان تغییرات}} \quad (۲)$$

**تغییرات غلظت ترکیب‌شونده به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:**

غلظت مصرفی ترکیب‌شونده = غلظت باقی‌مانده - غلظت اولیه = تغییرات غلظت ترکیب‌شونده

اگر یکای غلظت، مول بر لیتر و یکای زمان دقیقه باشد. یکای سرعت واکنش عبارت است از:

$$\text{یکای سرعت واکنش} = \frac{\left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)}{(\text{min})} = \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{min}}$$



یکاهای دیگری برای سرعت بیان کنید.

برای تعریف سرعت می‌توان به جای معادلهٔ (۲) و به جای تغییرات غلظت ترکیب‌شونده از تغییرات تعداد مول ترکیب‌شونده مطابق معادلهٔ (۳) استفاده کرد.

$$\text{سرعت واکنش} = \frac{۱}{V_R} \times \frac{\text{تغییرات تعداد مول ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}} \quad (۳)$$

۱- Reaction Rate

۲- kinetic



در رابطه (۳)،  $V_R$  حجم راکتور است.

البته به جای تغییرات تعداد مول ترکیب‌شونده می‌توان از تعداد مول مصرفی ترکیب‌شونده نیز استفاده کرد؛ لذا:

$$(۴) \quad \text{تعداد مول مصرفی ترکیب شونده} \times \frac{۱}{V_R} = \text{سرعت واکنش} \times \text{مدت زمان}$$

یکای سرعت واکنش را مطابق با معادله ۴ بیان کنید.

پرسش ۴



توجه



یکای سرعت واکنش بر اساس معادله‌های (۲) و (۳) تفاوتی نمی‌کند.

**مثال ۲:** واکنش  $A \rightarrow C$  با تعداد ۷ مول از ماده  $A$  در یک راکتور یک لیتری انجام شده است؛ پس از گذشت دو ساعت، ۳ مول از  $A$  در راکتور باقی‌مانده است، مطلوب است:

الف) درصد تبدیل ترکیب‌شونده در این مدت

ب) سرعت واکنش در این مدت

پاسخ: برای تعیین درصد تبدیل از معادله (۱) و سرعت واکنش از معادله (۴) استفاده می‌شود.

تعداد مول  $A$  باقی‌مانده - تعداد مول  $A$  اولیه = تعداد مول  $A$  مصرفی

$$\text{تعداد مول } A \text{ مصرفی} = ۷ - ۳ = ۴ \text{ mol}$$

$$\text{درصد تبدیل ماده } A = \frac{\text{تعداد مول مصرفی ماده } A}{\text{تعداد مول اولیه ماده } A} \times ۱۰۰ = \frac{۴}{۷} \times ۱۰۰ = ۵۷\%$$

$$\text{سرعت واکنش} = \frac{۱}{V_R} \times \frac{\text{تعداد مول مصرفی ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}} = \frac{۱}{۱} \times \frac{۴}{۲ \times ۶۰} = \frac{۴}{۱۲۰} = ۰/۰۳۳ \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{min}}$$

واکنش  $A \rightarrow C$  با تعداد ۵ مول از ماده اولیه  $A$  در یک راکتور ۵ لیتری آغاز شده است. پس از گذشت دو دقیقه از شروع واکنش، تعداد ۳ مول محصول  $C$  تولید می‌شود. حال مطلوب است:

الف) درصد تبدیل ترکیب‌شونده  
ب) سرعت واکنش

پرسش ۵



هدف از مطالعه سرعت یک واکنش شیمیایی، تعیین میزان سرعت و روند پیشرفت واکنش است. از لحاظ مقدار سرعت، معمولاً واکنش‌ها را به صورت ذیل دسته‌بندی می‌کنند.

- واکنش‌های خیلی سریع: مدت زمان انجام شدن این واکنش‌ها خیلی کوتاه و در حدود  $۱/۱۰۰۰۰$  ثانیه است؛
- واکنش‌های سریع: مدت زمان انجام شدن این واکنش‌ها کم و در حدود حساسیت انسان به زمان (ثانیه) است؛



- واکنش‌های معمولی: بیشتر واکنش‌هایی که در آزمایشگاه انجام می‌شود، از این نوع هستند و مدت زمان آن در حدود دقیقه یا ساعت است؛
  - واکنش‌های کند: مدت زمان انجام شدن این واکنش‌ها در حدود روزها و هفته‌اند؛
  - واکنش‌های خیلی کند: مدت زمان انجام شدن این واکنش‌ها در حدود سال‌هاست.
- از واکنش‌های خیلی سریع می‌توان به تشکیل رسوب نقره کلرید به هنگام مخلوط شدن محلول‌های حاوی یون‌های کلرید و نقره و از واکنش‌های کند می‌توان به زنگ زدن آهن اشاره کرد.

با استفاده از تحقیق اینترنتی، چند نمونه از واکنش‌های با سرعت کم و زیاد را نام ببرید.

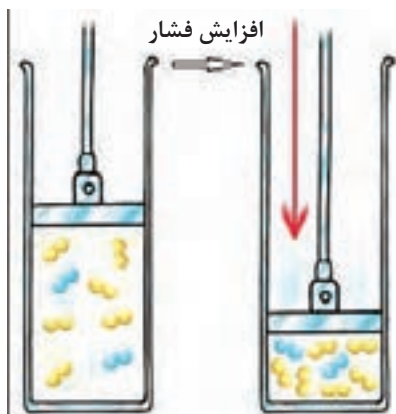
### ۳-۴- عوامل مؤثر بر سرعت واکنش شیمیایی

عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌های شیمیایی عبارت‌اند از:

- ۱- دما
- ۲- فشار
- ۳- غلظت ترکیب‌شونده
- ۴- اندازه ذرات ترکیب‌شونده و سطح تماس
- ۵- کاتالیزگر

#### تأثیر دما بر سرعت واکنش شیمیایی:

در اغلب واکنش‌های شیمیایی بین دما و سرعت واکنش رابطه مستقیم وجود دارد؛ یعنی با افزایش دما، تعداد بیشتری از ذرات ترکیب‌شونده با هم برخورد می‌کنند و برخوردها با شدت بیشتری اتفاق می‌افتد. در نتیجه سرعت واکنش شیمیایی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی به ازای افزایش دما به میزان ۱۰ درجه سلسیوس، سرعت واکنش شیمیایی دو برابر می‌شود.



شکل ۱-۴- تأثیر فشار بر سرعت واکنش

#### تأثیر فشار بر سرعت واکنش شیمیایی:

برای بعضی از واکنش‌های شیمیایی با افزایش فشار تعداد برخوردهای مواد ترکیب‌شونده بیشتر می‌شود و در نتیجه میزان سرعت واکنش افزایش می‌یابد (شکل ۱-۴).

### تأثیر غلظت ترکیب‌شونده‌ها بر سرعت واکنش شیمیایی:

افزایش در تعداد برخوردها باعث افزایش سرعت واکنش می‌شود. تراشهٔ چوب در هوای عادی که شامل ۲۰ درصد اکسیژن است، به خوبی می‌سوزد، اما همین تراشه در اکسیژن خالص، بسیار سریع‌تر می‌سوزد. هر چه غلظت مواد واکنش‌گر بیشتر باشد، به همان میزان تعداد برخوردها به یکدیگر بیشتر می‌شود و پیامد آن افزایش سرعت واکنش است.

### تأثیر اندازهٔ ذرات ترکیب‌شونده بر سرعت واکنش شیمیایی:

هر چه سطح مؤثر برخورد در ترکیب‌شونده‌ها بیشتر باشد، واکنش‌ها با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتند. اگر کبریت روشنی را در مقابل تکهٔ بزرگی از زغال بگیرید، شاید اتفاق خاصی نیفتد، اما اگر همین زغال را به تکه‌های بسیار ریز خرد کنید و آنها را به هوا پرت کنید و کبریتی را روشن کنید، انفجاری را خواهید دید که این پدیده به دلیل افزایش سطح مؤثر برخورد ذرات واکنش‌دهنده است. علت زنگ‌زدگی سریع‌تر براده‌های آهن نسبت به یک میخ آهنی نیز همین افزایش سطح تماس است؛ بنابراین افزایش سطح تماس، تعداد برخوردها را افزایش می‌دهد و بر روی سرعت واکنش تأثیر می‌گذارد.

### تأثیر کاتالیزگر بر سرعت واکنش شیمیایی:

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌های شیمیایی وجود کاتالیزگر مناسب است. در یک تعریف کلی، به موادی که در محیط واکنش حضور دارند و موجب افزایش سرعت و تغییر مسیر پیشرفت واکنش می‌شوند و در خاتمهٔ واکنش بدون هیچ تغییر شیمیایی در محیط واکنش باقی می‌مانند، کاتالیز گفته می‌شود.

هر واکنشی کاتالیزگر مخصوص به خود را دارد؛ ولی در عین حال ممکن است یک نوع کاتالیزگر برای چند واکنش شیمیایی مختلف مناسب باشد. در هر ماده کاتالیزگر به شیوه‌ای وارد عمل می‌شود و روی سرعت واکنش شیمیایی اثر می‌گذارد. در واکنش‌ها کاتالیزگر با اتصال به مواد اولیهٔ واکنش، سطح تماس را افزایش

می‌دهد و همچنین انرژی لازم برای آغاز واکنش را کم می‌کند که پیامد هر دو روش افزایش سرعت است. یکی دیگر از محاسن استفاده از کاتالیزگر انتخابی عمل کردن آن است، یعنی اگر در یک راکتور چند واکنش هم‌زمان صورت بگیرد، یک کاتالیزگر مناسب می‌تواند سرعت تشکیل و تولید محصول مطلوب را افزایش دهد و سرعت واکنش‌های نامطلوب و ناخواسته را کاهش دهد (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- تأثیر کاتالیزگر بر پیشرفت واکنش



**بررسی تأثیر غلظت بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:**  
انجام دادن واکنش سولفوریک اسید با نمک سدیم تیوسولفات

واکنش انجام شده به صورت زیر است.



نکته: به علت تولید رسوب گوگرد، رنگ محلول کدر می‌شود

مواد لازم	وسایل لازم
محلول سولفوریک اسید با غلظت‌های ۰/۵، ۱/۵، ۲ مولار محلول سدیم تیوسولفات با غلظت ۰/۵ مولار	بشر ۵۰ میلی لیتری استوانه مدرج ۵۰ میلی لیتری زمان سنج (کرونومتر)

### روش کار:

- ۵ میلی لیتر محلول سولفوریک اسید ۰/۵ مولار را داخل استوانه مدرج بریزید، ۵ میلی لیتر محلول سدیم تیوسولفات ۰/۵ مولار به آن اضافه کنید و زمان را از لحظه اضافه کردن آن تا هنگام کدر شدن رنگ محلول اندازه گیری کنید ( $t_1$ )؛
- آزمایش مرحله ۱ را با محلول‌های سولفوریک اسید ۱، ۱/۵ و ۲ مولار و محلول سدیم تیوسولفات ۰/۵ مولار تکرار کنید و هر بار زمان کدر شدن محلول را با زمان سنج اندازه بگیرید. ( $t_2$ ،  $t_3$ ،  $t_4$ )؛
- نتایج آزمایش‌ها را در جدول زیر یادداشت کنید:

مدت زمان واکنش (ثانیه)	غلظت سولفوریک اسید (مولار)
	۰/۵
	۱/۵
	۲/۵

چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث کنید.

**بررسی تأثیر دما بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:**  
انجام دادن واکنش سولفوریک اسید با نمک سدیم تیوسولفات در دماهای مختلف



مواد لازم	وسایل لازم
محلول سولفوریک اسید با غلظت ۰/۵ مولار محلول سدیم تیوسولفات با غلظت ۰/۵ مولار	بشر ۱۰۰ میلی لیتری، لوله آزمایش، گیره لوله آزمایش، توری نسوز، سه پایه، چراغ گاز، پایه فلزی، دماسنج و زمان سنج.

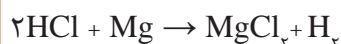
### روش کار:

- ۱- دو لوله آزمایش را بردارید و در یکی از آنها ۳ میلی لیتر سولفوریک اسید ۰/۵ مولار و در دیگری ۳ میلی لیتر محلول سدیم تیوسولفات ۰/۵ مولار بریزید. سپس هر دو لوله را به کمک گیره لوله آزمایش در داخل بشر بگذارید و بشر را تا نیمه آن پر از آب کنید. بعد دماسنجی را به کمک گیره به پایه فلزی نصب کنید؛ به طوری که مخزن دماسنج داخل بشر و درون آب قرار گیرد. چند لحظه صبر کنید تا دماسنج دمای رقیق آب داخل بشر را نشان دهد.
- ۲- حال بشر را روی چراغ گاز روشن قرار دهید و چند لحظه صبر کنید تا دمای آب داخل بشر به حدود ۵۰ درجه سلسیوس برسد. سپس محلول سدیم تیوسولفات را به محلول سولفوریک اسید اضافه کنید و زمان را از لحظه اضافه کردن تا هنگام کدر شدن محلول اندازه گیری کنید (t<sub>۱</sub>).
- ۳- آزمایش را دوباره انجام دهید و این بار دمای آب داخل بشر را حدود ۶۵ درجه سلسیوس برسانید و زمان کدر شدن محلول را اندازه گیری کنید (t<sub>۲</sub>).
- ۴- آزمایش را در حمام با دمای ۷۵ درجه سلسیوس تکرار کنید و زمان کدر شدن محلول را اندازه گیری کنید (t<sub>۳</sub>).
- ۵- نتایج آزمایشها را در جدول زیر ثبت کنید:

زمان کدر شدن محلول (ثانیه)	دمای محلول واکنش (سلسیوس)
	۵۰
	۶۵
	۷۵

- ۶- چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث کنید.

**بررسی تأثیر اندازه ذرات بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:**  
واکنش هیدروکلریک اسید با فلز منیزیم به صورت زیر انجام می‌شود:



فعالیت  
آزمایشگاهی ۳



وسایل لازم	مواد لازم
۲ عدد بشر ۱۰۰ میلی لیتری زمان سنج	محلول هیدروکلریک اسید با غلظت ۰/۵ مولار نوار منیزیم ۱ گرم پودر منیزیم ۱ گرم

### روش کار:

- ۱- دو بشر را بردارید و در هر دوی آنها ۸۵ میلی لیتر هیدروکلریک اسید با غلظت ۰/۵ مولار بریزید. در یکی از بشرها ۱ گرم نوار منیزیم و در دیگری ۱ گرم پودر منیزیم بریزید و صبر کنید تا کاملاً نوار و پودر در اسید حل شود و مدت زمان حل شدن فلز منیزیم را در هر دو بشر اندازه بگیرید.
- ۲- نتایج حاصل از آزمایش را در جدول ثبت کنید:

مدت زمان حل شدن فلز منیزیم (ثانیه)	بشر حاوی
	نوار منیزیم
	پودر منیزیم

۳- چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌گیرید؟

## ۴-۴- تقسیم بندی واکنش‌های شیمیایی بر اساس تعداد فاز

بر اساس تعداد فازهای مواد، تقسیم‌بندی واکنش‌ها عبارت‌اند از:  
**واکنش همگن (هموژن<sup>۱</sup>):** در این واکنش تمامی مواد شرکت‌کننده در یک فاز هستند. تولید صابون از محلول قلیایی و اسیدهای چرب به صورت همگن و در فاز مایع و تولید سیمان نیز به صورت همگن و در فاز جامد انجام می‌شود.

**واکنش ناهمگن (هتروژن<sup>۲</sup>):** اگر مواد شرکت‌کننده در واکنش در یک فاز نباشند، این واکنش را ناهمگن می‌گویند. از واکنش‌های ناهمگن می‌توان به واکنش تولید گاز هیدروژن، تولید بنزین (گاز و جامد)، تولید استیلن (مایع و جامد)، تولید گازوئیل (گاز- جامد- مایع) اشاره کرد.

۱- Homogeneous

۲- Hetrogeneous



سه نمونه واکنش همگن و سه نمونه واکنش ناهمگن را نام ببرید.

## ۵-۴- تقسیم بندی واکنش های شیمیایی بر اساس گرمای واکنش

واکنش گرمازا (گرماده): واکنش هایی هستند که در هنگام انجام شدن، گرما ایجاد می کنند و به محیط اطراف خود انرژی می دهند. واکنش های سوختن، خنثی شدن و بسیاری از واکنش هایی که با اکسیژن انجام می شوند، گرمازا هستند.

### واکنش گرمازا (گرماده)

مواد لازم	وسایل لازم
مس (II) سولفات پودر روی	بشر ۱۰۰ میلی لیتر دماسنج



### روش کار:

۵۰ میلی لیتر محلول مس (II) سولفات (یک مولار) را در یک بشر ۱۰۰ میلی لیتری بریزید و به آن مقداری پودر روی اضافه کنید. سپس مخلوط را به آرامی هم بزنید و دماسنج را درون محتویات بشر قرار دهید و دمای مخلوط را اندازه گیری کنید.

واکنش های گرماگیر: تعدادی از واکنش های شیمیایی برای انجام شدن از محیط اطراف خود گرما می گیرند، معمولاً واکنش هایی که در آن یک ترکیب شونده به چند محصول تبدیل می شود، از نوع گرماگیر هستند.

### واکنش گرماگیر

مواد لازم	وسایل لازم
آمونیم نیترات آب	بشر ۱۰۰ میلی لیتر، گرم کن الکتریکی، دماسنج و لوله آزمایش شیشه ای



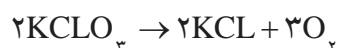
**روش کار:** ۲ گرم نمک آمونیم نیترات خشک را درون بشر بریزید و روی آن ۵ میلی لیتر آب ۲۰ درجه سلسیوس اضافه کنید و دماسنج را درون بشر قرار دهید. چه چیزی مشاهده می کنید؟ دماسنج چه عددی را نشان می دهد؟

**مثال ۳:** واکنش تولید پتاسیم کلرید (KCl) از  $(KClO_3)$  در یک راکتور ناپیوسته انجام می‌شود. غلظت ماده ترکیب‌شونده در مدت زمان ۴۰ دقیقه مطابق با جدول ذیل اندازه‌گیری شده است، حال مطلوب است:  
 الف) موازنهٔ مولی فرمول واکنش  
 ب) میزان سرعت واکنش

زمان (دقیقه)	۰	۱۰	۲۰	۴۰
غلظت ترکیب‌شونده (مواد)	۱	۰/۸	۰/۶۶۷	۰/۵

**پاسخ:**

الف) موازنهٔ مولی فرمول واکنش با توجه به تعداد اتم‌های مواد در دو طرف واکنش به صورت زیر است:



ب) برای تعیین مقدار سرعت از معادلهٔ ۲ استفاده می‌شود.

$$\text{سرعت واکنش} = \frac{\text{غلظت ماده مصرفی ترکیب‌شونده}}{\text{مدت زمان}}$$

غلظت مصرفی ماده ترکیب‌شونده، از تفاضل غلظت اولیه و باقی‌ماندهٔ ترکیب‌شونده به دست می‌آید. در این مثال غلظت اولیهٔ همان مقدار غلظت در لحظهٔ صفر است (چون در لحظهٔ صفر هنوز واکنشی شروع نشده است) بنابراین:

زمان (دقیقه)	۰	۱۰	۲۰	۴۰
غلظت ترکیب‌شونده	۱	۰/۸	۰/۶۶۷	۰/۵
غلظت مصرفی ترکیب‌شونده	-	$1 - 0/8 = 0/2$	$1 - 0/667 = 0/333$	$1 - 0/5 = 0/5$
سرعت	-	$\frac{0/2}{10} = 0/02$	$\frac{0/333}{20} = 0/016$	$\frac{0/5}{40} = 0/0125$

یکای سرعت در این مثال  $\frac{\text{مولار}}{\text{دقیقه}}$  یا  $\frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{min}}$  است.

نکته ایمنی ۱







۱- سرعت واکنش را تعریف کنید و عوامل تأثیرگذار بر آن را توضیح دهید.

۲- دو روش برای تعیین سرعت یک واکنش شیمیایی را توضیح دهید.

۳- چرا دما بر سرعت واکنش شیمیایی تأثیر دارد؟

۴- واکنش‌های همگن و ناهمگن را با ذکر مثال توضیح دهید.

۵- در یک واکنش شیمیایی با گذشت زمان، میزان درصد تبدیل چه تغییری می‌کند؟ چرا؟

۶- واکنش  $C \rightarrow 2A$  با ۵ مول از ترکیب‌شونده A در یک راکتور ۲ لیتری آغاز می‌شود. پس از گذشت نیم ساعت از شروع واکنش، دو مول از A در راکتور باقی می‌ماند. درصد تبدیل ماده A در این راکتور چند درصد است؟ سرعت

واکنش بر حسب  $\frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{min}}$  چقدر است؟

۷- کاتالیزگرها چه نقشی در انجام شدن واکنش شیمیایی دارند؟ توضیح دهید.

## ۶-۴- راکتورهای شیمیایی

راکتور دستگاهی است که در آن واکنش‌های شیمیایی انجام می‌شود. راکتورهای شیمیایی می‌توانند در اندازه بزرگ و برای مصارف صنعتی یا در اندازه کوچک برای کاربردهای آزمایشگاهی و تحقیقاتی ساخته شوند (شکل زیر).



در یک کارخانه صنایع شیمیایی، مواد خام اولیه یا همان ترکیب‌شونده‌ها از تعدادی فرایندهای فیزیکی اولیه از قبیل جداسازی و خالص‌سازی عبور می‌کنند تا آماده ورود به مرحله واکنش شیمیایی شوند.

در این مرحله با استفاده از یک راکتور، تغییرات شیمیایی مناسب انجام می‌شوند و محصول تولید می‌شود. به دلیل انجام شدن بعضی از واکنش‌های ناخواسته یا وجود مقداری

از مواد اولیه ورودی به راکتور که فرصت انجام واکنش را پیدا نکرده‌اند و همراه محصول از راکتور خارج شده‌اند، محصول تولیدی قابل فروش به بازار نیست و لازم است عملیات فیزیکی دیگری از قبیل جداسازی و خالص‌سازی بر روی آن انجام شود و سپس به عنوان محصول خالص نهایی به بازار عرضه شود. در یک فرایند شیمیایی احتمال اینکه تمام مواد خام اولیه در راکتور مصرف نشوند؛ وجود دارد؛ لذا آن مقدار مواد اولیه که در راکتور مصرف نشده‌اند می‌بایست به راکتور برگردانده شوند که اصطلاحاً به این جریان، جریان برگشتی<sup>۱</sup> می‌گویند (شکل ۳-۴).

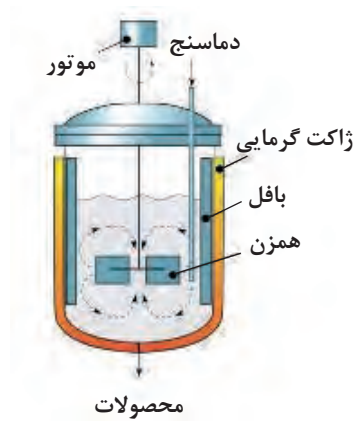


شکل ۳-۴- طرح ساده‌ای از یک فرایند شیمیایی



در صنایع شیمیایی، راکتور به‌عنوان قلب فرایند شیمیایی و مهم‌ترین و حساس‌ترین عملیات در کارخانه محسوب می‌شود. راکتورهای شیمیایی براساس نوع عملیات به سه دسته راکتورهای ناپیوسته<sup>۱</sup>، پیوسته<sup>۲</sup> و نیمه‌پیوسته<sup>۳</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند. در ادامه توضیح بیشتر این راکتورها آورده شده است.

## ۷-۴- راکتورهای ناپیوسته



شکل ۴-۴- راکتور ناپیوسته

از دیدگاه تاریخی، راکتورهای ناپیوسته از آغاز صنعت شیمیایی مورد استفاده بوده‌اند و هنوز هم به‌صورت وسیعی در تولید مواد شیمیایی با ارزش افزوده بالا استفاده می‌شوند. در این راکتورها مواد اولیه یا همان ترکیب‌شونده‌ها در همان ابتدای عمل وارد راکتور می‌شوند. محتویات راکتور برای مدت‌زمان مشخصی مخلوط می‌شوند و پس از مدت‌زمان معینی که واکنش پیشرفت کرد، محتویات داخل راکتور تخلیه می‌شوند؛ بنابراین در این راکتور در هنگام واکنش هیچ جرمی وارد و خارج نمی‌شود (شکل ۴-۴). تولید PVC در کارخانجات پتروشیمی در راکتورهای ناپیوسته انجام می‌شود.

پرسش ۸



چند واکنش شیمیایی را که در راکتور ناپیوسته انجام می‌شود، نام ببرید.

انتقال گرمای فرایند چه از نظر عملیاتی و چه از نظر ایمنی از اهمیت بالایی برخوردار است. همان‌طور که توضیح داده شد، واکنش‌های شیمیایی یا گرمازا هستند و یا گرماگیر. در نتیجه در هنگام انجام شدن واکنش ممکن است محتویات درون راکتور سرد یا گرم شوند. بالا رفتن بیش از حد دما در راکتور می‌تواند موجب اختلال در عملکرد و تجهیزات کنترلی آن شود و از همه مهم‌تر، خطر انفجار و نشت مواد را افزایش می‌دهد. همچنین در صورتی که واکنش گرماگیر باشد، با پیشرفت واکنش محتویات راکتور سردتر می‌شود و ممکن است موجب کندی سرعت واکنش یا انجماد مواد در راکتور و تجهیزات آن شود. در نتیجه می‌بایست، همواره دما را در حد مناسب و ایمن نگه داشت. برای این منظور از مبدل‌های حرارتی و تجهیزات انتقال گرما استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین

۱- Batch

۲- Continuous

۳- Semi-Continuous , Semi - batch



شکل ۵-۴- راکتور ناپیوسته صنعتی با سامانه گرمایی

روش‌ها برای کنترل دمای راکتورها استفاده از ژاکت و یا کویل‌های تبادل گرما است. در ژاکت‌ها، جریانی از یک ماده مثل روغن یا آب با دمای بالاتر و یا پایین‌تر برای تنظیم دما، در اطراف راکتور و بدون تماس جرمی با محتویات راکتور، در حال چرخش است. در روش کویل لوله‌هایی که حاوی همان جریان سردتر یا گرم‌تر است، به صورت مارپیچ و یا طراحی دیگر در اطراف راکتور قرار داده می‌شود تا تبادل گرما انجام شود (شکل ۵-۴).

فرایند هم‌زدن و انتقال جرم در راکتورها از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا در صورتی که محتویات داخل راکتور به خوبی ترکیب نشوند، امکان واکنش ندادن بخشی از مواد و در نتیجه پایین آمدن کیفیت محصول فراهم می‌شود. عمل هم‌زدن در راکتورهای مخزنی شکل، با استفاده از همزن‌های دوار انجام می‌شود که به محور و الکتروموتور متصل است (شکل ۶-۴). شیوه قرارگیری و سرعت چرخش همزن بستگی به عوامل حجم مخزن، شکل مخزن و گرانروی سیال دارد.



شکل ۶-۴- انواع همزن در راکتور

همچنین انتخاب جنس همزن و بدنه راکتور به مواد داخل راکتور بستگی دارد؛ مثلاً اگر مواد داخل راکتور خورنده باشند، استفاده از فولاد و موادی که امکان خورده شدن در آن وجود دارد، غیر منطقی است. در این حالت انتخاب مواد جایگزین یا پوشش‌دهی تجهیزات با لعاب‌های سرامیکی یا پوشش‌های بسپاری (پلیمری)، روش مناسبی در جلوگیری از خوردگی و واکنش‌های ناخواسته است. در این راکتورها میزان درصد تبدیل در طول زمان تغییر می‌کند، اما اختلاط کامل باعث می‌شود که در هر لحظه دما و میزان درصد تبدیل در سرتاسر راکتور یکنواخت باشد.

معمولاً راکتورهای ناپیوسته در موارد زیر استفاده دارند.

- تولید در مقیاس کوچک صنعتی (ظرفیت کم)؛
- آزمایش کردن فرایندهای ناشناخته؛
- تولید صنعتی محصولات گران‌قیمت؛
- برای محصولاتی که تولید آنها در شرایط مداوم مشکل باشد.

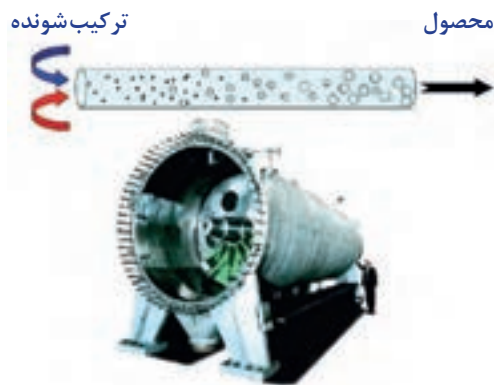
امتیاز راکتورهای ناپیوسته در این است که با دادن زمان لازم برای انجام شدن واکنش درصد تبدیل بالا برای محصولات به وجود می‌آید.

در حالی که استفاده از این نوع راکتورها محدود به واکنش‌های همگن فاز مایع است. از دیگر محدودیت‌های این نوع راکتورها بالا بودن هزینه تولید در واحد حجم محصول تولید شده است، همچنین تولید صنعتی در مقیاس بالا در این گونه راکتورها مشکل است.

## ۸-۴- راکتورهای پیوسته

در این نوع راکتورها، مواد اولیه به طور دائم وارد راکتور می‌شود و پس از انجام دادن واکنش، محصول به طور پیوسته از راکتور خارج می‌شود. این گونه راکتورها هنگامی در صنعت استفاده می‌شوند که هدف تولید مقدار زیادی محصول باشد، در ضمن راکتورهای پیوسته برای انجام دادن واکنش‌های سریع مناسب‌تر هستند. از این راکتورها در بسیاری از صنایع شیمیایی، به خصوص صنایع نفت، گاز و پتروشیمی استفاده می‌شود.

### راکتورهای لوله‌ای!



شکل ۷-۴- راکتور لوله‌ای

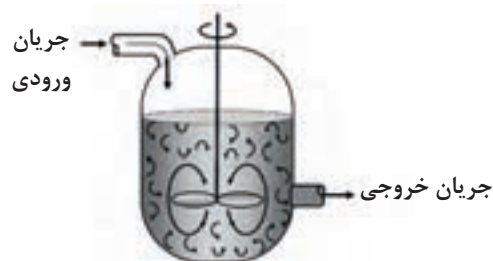
در صنایع شیمیایی برای فرایندهای بزرگ مقیاس، معمولاً از راکتورهای لوله‌ای استفاده می‌شود. زیرا نگهداری سامانه راکتورهای لوله‌ای آسان است (چون دارای قسمت‌های متحرک نیستند). این راکتورها معمولاً بالاترین درصد تبدیل مواد اولیه در واحد حجم راکتور را در مقایسه با سایر راکتورهای سامانه پیوسته دارند. در این راکتورها، از یک لوله برای انجام شدن واکنش استفاده می‌شود. این نوع راکتورها نسبت به شکل مخزنی آن، فضای کمتری را اشغال می‌کنند (شکل ۷-۴).

به دلیل ساختار لوله‌ای، این راکتورها سطح تماس بیشتری با محیط اطراف دارند و تبادل گرما راحت‌تر انجام می‌شود. درون راکتورهای لوله‌ای غلظت مواد از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر می‌کند. از محدودیت‌های این نوع راکتورها، مشکل بودن کنترل دما برای واکنش‌های گرمازا است. راکتورهای لوله‌ای یا به صورت تک لوله‌ای هستند یا به صورت مجموعه‌ای از چندین لوله کوتاه‌تر که به صورت موازی به یکدیگر متصل هستند. اغلب واکنش‌های ناهمگن گازی در این راکتورها انجام می‌شود.

### راکتور مخزنی همزن دار پیوسته<sup>۱</sup>:

راکتورهای مخزنی همزن دار پیوسته، گونه‌ای متداول از راکتورها هستند که در آنها یک یا چند جریان ورودی به سامانه، مواد ترکیب‌شونده را به داخل راکتور می‌آورد و پس از انجام شدن واکنش، محصولات خارج می‌شوند. به طور معمول شدت جریان ورودی و خروجی از این راکتورها ثابت است. در غیر این صورت امکان سرریز یا تخلیه سریع مخزن راکتور وجود دارد.

راکتور مخزنی همزن دار پیوسته یا اصطلاحاً راکتور مخلوط‌شونده، در شرایطی که یک واکنش شیمیایی احتیاج به اختلاط شدید داشته باشد، استفاده می‌شود. راکتورهای مخلوط‌شونده یا به‌تنهایی و یا به‌صورت پشت سر هم استفاده می‌شوند. کنترل دمایی در این نوع راکتورها به‌آسانی انجام می‌گیرد. عمل اختلاط و هم‌زدن مواد با محور



شکل ۸-۴- راکتور مخزنی همزن دار پیوسته

و پروانه صورت می‌گیرد. در مقایسه با سایر راکتورها درصد تبدیل مواد در آنها به ازای واحد حجم محصول تولیدی پایین‌تر است و به همین دلیل برای دستیابی به میزان درصد تبدیل بیشتر محصول مطلوب، از راکتور با حجم‌های بزرگ‌تر استفاده می‌شود. راکتورهای مخلوط‌شونده برای اغلب واکنش‌های همگن در فاز مایع استفاده می‌شود (شکل‌های ۸-۴ و ۹-۴).

در راکتورهای مخلوط‌شونده به‌علت وجود همزن، خوراک ورودی به‌سرعت در سرتاسر ظرف پراکنده می‌شود و غلظت در هر نقطه درون ظرف تقریباً یکسان است؛ لذا سرعت واکنش در تمام نقاط درون راکتور یکسان است. به‌طور کلی در راکتورهای مخلوط‌شونده تغییرات مکانی غلظت (یا خواص فیزیکی) درون راکتور یا در خروجی آن وجود ندارد و خواص آن یکنواخت است.

این نوع راکتورها برای تولید محصولاتی با حجم بالا از قبیل محصولات پتروشیمی، مواد شوینده، بهداشتی و محصولاتی که میزان تقاضای آنها به‌صورت ثابت در بازار وجود دارد، استفاده می‌شود. این نوع راکتورهای پیوسته در مقایسه با راکتورهای لوله‌ای حجم بیشتری نیاز دارند و حجم تولید در آنها بالاتر است.



شکل ۹-۴- راکتور مخزنی همزن دار پیوسته به همراه جزئیات

## زمان اقامت در راکتورهای پیوسته:

در راکتورهای پیوسته که به‌طور مدام مواد خام به آن وارد و محصولات از آن خارج می‌شوند، از کمیتی به نام زمان اقامت استفاده می‌شود. زمان اقامت، متوسط زمانی است که یک ذره وارد راکتور می‌شود و تا زمان خروج در حال انجام دادن واکنش است. این کمیت به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$t = \frac{V}{Q}$$

در این معادله،  $V$  نشان‌دهنده حجم راکتور،  $Q$  شدت جریان حجمی ورودی به راکتور و  $t$  زمان اقامت است. زمان اقامت یکی از متغیرها در طراحی راکتورهای شیمیایی است.

**مثال ۴:** واکنش  $A + B \rightarrow C$  قرار است در یک راکتور لوله‌ای  $50$  لیتری و در راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته  $75$  لیتری انجام شود. میزان شدت جریان ورودی به هر دو راکتور  $25$  لیتر بر دقیقه است. تعیین کنید مدت زمان اقامت مواد در این دو راکتور چقدر است.

**پاسخ:**

$$\text{زمان اقامت} = \frac{\text{حجم راکتور}}{\text{شدت جریان حجمی ورودی به راکتور}}$$

$$t = \frac{50}{25} = 2 \text{ min} \quad \text{زمان اقامت در راکتور لوله‌ای:}$$

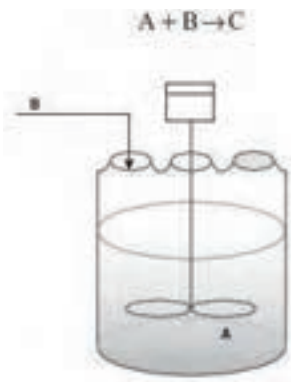
$$t = \frac{75}{25} = 3 \text{ min} \quad \text{زمان اقامت در راکتور مخلوط شده پیوسته:}$$

درباره راکتورهای پیوسته صنعتی، مثال‌هایی را پیدا کنید.

تحقیق کنید ۲

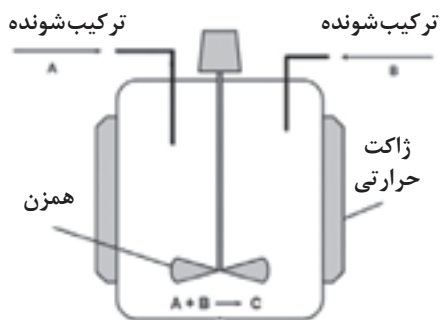


## ۹-۴- راکتورهای نیمه پیوسته



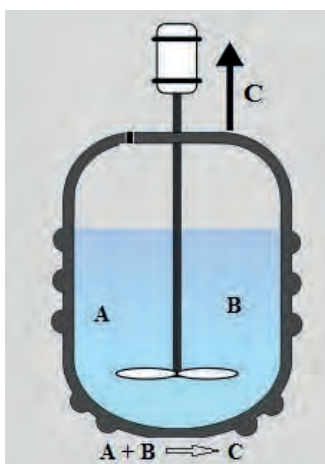
این نوع راکتورها دارای انواع متنوعی هستند. در نوع متداول آن یکی از مواد اولیه ( $A$ ) ابتدا وارد راکتور می‌شود و سپس به تدریج ماده اولیه دیگر ( $B$ ) به آن اضافه می‌شود (شکل ۱۰-۴).

شکل ۱۰-۴- راکتور نیمه پیوسته



شکل ۴-۱۱- راکتور نیمه پیوسته

در نوع دیگر، مواد اولیه (A و B) به‌طور هم‌زمان وارد راکتور می‌شود، ولی تا پایان واکنش هیچ محصولی (C) از راکتور خارج نمی‌شود (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۲- راکتور نیمه پیوسته

نوع دیگری از آن وجود دارد که تمامی مواد اولیه (A و B) در داخل راکتور بارگیری شده است و در هنگام واکنش ماده‌ای داخل راکتور نمی‌شود ولی هم‌زمان با واکنش، محصول (C) که معمولاً به‌صورت گاز است از راکتور خارج می‌شود (شکل ۴-۱۲).

راکتورهای نیمه پیوسته همان محدودیت‌های راکتور ناپیوسته را دارد. از امتیازات راکتورهای نیمه پیوسته کنترل بهتر دما و کنترل واکنش‌های نامطلوب و محدود کردن تولید محصولات ناخواسته است. این عمل از طریق وارد کردن تدریجی یکی از اجزای ترکیب‌شونده با غلظت کم میسر می‌شود. راکتورهای نیمه پیوسته اغلب برای واکنش‌های دو فازی استفاده می‌شوند که یکی از اجزای ترکیب‌شونده، گاز است و جزء گازی به‌صورت حباب به داخل فاز مایع درون راکتور تزریق می‌شود.

به نظر شما میزان تبدیل در کدام راکتور بیشتر است؟ چرا؟

پرسش ۹



فعالیت  
عملی ۱



### کار با راکتور ناپیوسته

تهیه ماست:

مواد و وسایل لازم:

- ۱- دو نمونه مختلف ماست (نمونه A و نمونه B)
- ۲- چهار عدد بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری
- ۳- یک لیتر شیر پاستوریزه
- ۴- چراغ گاز
- ۵- لیوان یک بار مصرف (۱۲ عدد)
- ۶- فویل آلومینیومی

۷- قاشق (چهار عدد)

۸- محفظه گرم

۹- یخچال

۱۰- دماسنج الکلی

### روش کار:

- ۱- ابتدا نمونه ماست‌ها را به دو قسمت تقسیم کنید (داخل بشر) و آنها را  $A_1$ ،  $A_2$ ،  $B_1$  و  $B_2$  شماره گذاری کنید. (بهتر است نمونه‌های ماست متفاوت باشند. مثلاً یک نمونه ماست تازه و نمونه دومی ماست ترش باشد).
- ۲- نمونه‌های  $A_1$  و  $B_1$  را روی شعله گاز ضمن اینکه به آرامی حرارت می‌دهید به هم بزنید. بعد از جوشانیدن ماست اجازه بدهید تا ماست‌ها خنک شوند.
- ۳- شیر را تادمای  $72^\circ\text{C}$  گرم کنید.
- ۴- اجازه دهید شیر تادمای  $45^\circ\text{C}$  سرد شود، سپس آن را داخل لیوان‌های یک‌بار مصرف تقسیم کنید.
- ۵- به سه لیوان شیر یک قاشق از ماست نمونه  $A_1$  اضافه کنید و خوب مخلوط کنید و در لیوان‌ها را با فویل ببندید و روی آنها را برچسب بزنید.
- ۶- به سه لیوان شیر دیگر یک قاشق از ماست نمونه  $A_2$  اضافه کرده و خوب مخلوط کنید و در لیوان‌ها را با فویل ببندید و روی آنها را برچسب بزنید.
- ۷- به سه لیوان دیگر نمونه  $B_1$  را اضافه کرده و به همان ترتیب عمل کنید.
- ۸- به سه لیوان دیگر نمونه  $B_2$  را اضافه کرده و به همان ترتیب عمل کنید. (توجه داشته باشید که بهتر است برای هر نمونه از یک قاشق جداگانه استفاده کنید).
- ۹- لیوان‌ها را به مدت چند ساعت (۳-۵ ساعت) در جای گرم قرار دهید ( $37^\circ\text{C}$ ) و سپس آنها را به یخچال منتقل کنید.
- ۱۰- روز بعد ماست‌ها را از نظر بو، طعم، مزه و قوام ظاهری بررسی کنید و دلایل اختلاف آنها را توضیح دهید.

۱- ماست چگونه تهیه می‌شود؟

۲- میکروب‌های ماست چگونه به نگهداری شیر کمک می‌کنند؟

۳- جوشاندن ماست چه تأثیری روی میکروب‌های آن دارد.

۴- ماست‌های حاصل از نمونه‌های  $A_1$  و  $A_2$  چه اختلافی با هم دارند؟ دلیل آن را توضیح دهید.

۵- ماست‌های حاصل از نمونه‌های  $B_1$  و  $B_2$  چه اختلافی با هم دارند؟ دلیل آن را توضیح دهید.

۶- ماست‌های حاصل از نمونه‌های  $A_2$  و  $B_2$  چه اختلافی با هم دارند؟ دلیل آن را توضیح دهید.

تحقیق کنید:

درباره راکتورهای پیوسته صنعتی، مثال‌هایی را پیدا کنید.

پرسش ۱۰







- ۱- دو کاربرد از راکتورهای ناپیوسته را بیان کنید و دو واکنش را که در صنایع شیمیایی در راکتور ناپیوسته انجام می‌شود، نام ببرید.
- ۲- واکنش  $2C \rightarrow A$  قرار است در یک راکتور مخلوط‌شونده ۱۰۰ لیتری با ۱۰ مول از ماده A آغاز شود. میزان شدت جریان ورودی به راکتور ۵۰ لیتر بر دقیقه است. مدت زمان اقامت مواد در راکتور چقدر است؟
- ۳- واکنش  $2C \rightarrow A$  قرار است در یک راکتور مخلوط‌شونده ۱۰۰ لیتری با ۱۰ مول از ماده A آغاز شود. پس از گذشت ۲۰ دقیقه از شروع واکنش میزان محصول تولیدی ۱۰ مول است. میزان تبدیل در راکتور چقدر است؟ میزان سرعت واکنش بر حسب  $\frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{min}}$  چقدر است؟
- ۴- مزایای راکتورهای لوله‌ای و مخلوط‌شونده را نام ببرید.
- ۵- تفاوت راکتور ناپیوسته و پیوسته چیست؟
- ۶- معمولاً گرمای لازم در راکتورها را چگونه تأمین می‌کنند؟ توضیح دهید.
- ۷- هم زدن در کدام یک از راکتورهای شیمیایی تأثیرگذار است؟ شیوه تأثیر را توضیح دهید.
- ۸- برای تولید بنزین در یک پالایشگاه از چه راکتوری استفاده می‌شود؟ چرا؟
- ۹- انواع راکتورهای نیمه پیوسته را نام ببرید و توضیح دهید.
- ۱۰- آیا از مقایسه میزان تبدیل در دو راکتور می‌توان به مناسب بودن آنها پی برد؟ چگونه؟
- ۱۱- در یک کارخانه شیمیایی که واکنشی در فاز مایع در آن اتفاق می‌افتد، برای افزایش میزان سرعت واکنش از میان راهکارهای زیر، کدام راهکار را پیشنهاد می‌دهید؟ چرا؟
  - افزایش دما
  - افزایش فشار
- ۱۲- عملیات در یک راکتور ناپیوسته را به همراه شکل توضیح دهید.
- ۱۳- از میان متغیرهای «سرعت واکنش» و «درصد تبدیل»، کدام یک در تصمیم‌گیری نوع عملیات مهم‌تر است؟ توضیح دهید.



- آیا در منزل مسکونی شما مخزن ذخیره‌سازی وجود دارد؟ چه چیزی را ذخیره می‌کنید؟ چرا؟  
- به نظر شما در صنعت نیازی به ذخیره‌سازی مواد اولیه و محصول وجود دارد؟ چرا؟

پرسش ۱۲



در صنایع شیمیایی، مواد ارزشمند طی فرایندهای مختلفی از مواد شیمیایی خام جدا می‌شوند و یا از آنها تهیه می‌شوند. چندین راه برای انتقال مواد خام از منابع تأمین‌کننده به کارخانه وجود دارد که بر حسب شرایط از خطوط انتقال یا تانکرها استفاده می‌شود. همچنین محصولات تولیدی به روش‌های مختلف به بازار داخلی یا خارجی عرضه می‌شوند.

به دلایل زیادی از جمله یکسان کردن کیفیت محصول، اندازه‌گیری حجم محصول، بارگیری و انتقال توسط تانکر یا کشتی در کمترین زمان ممکن محصولات را، در مخازن یا تانک‌های مناسب ذخیره می‌کنند. از اصطلاح تانک برای ظروف ذخیره‌سازی بزرگ با کاربرد جابه‌جا کردن، ذخیره‌سازی، اندازه‌گیری و حمل‌ونقل مایعات استفاده می‌شود. به طور کلی مخازن چند وظیفه اصلی به عهده دارند:

- ذخیره مواد اولیه و خوراک کارخانه‌ها
- ذخیره فرآورده‌ها و محصولات
- ذخیره مواد برای بارگیری و پخش
- همسان کردن کیفیت محصول
- معیاری جهت اندازه‌گیری حجم خوراک و محصول تولیدشده

### اصول ذخیره‌سازی مایعات

ساختار و اندازه مخزن ذخیره‌سازی به ماهیت ماده ذخیره شده و حجم لازم برای ذخیره‌سازی بستگی دارد. مهم‌ترین متغیرهایی که در انتخاب نوع مخزن تأثیرگذار هستند، عبارت‌اند از:

#### ۱- فشار بخار ماده یا به عبارت دیگر فرّاریت

در صورتی که فشار بخار ماده بالا باشد، می‌بایست آن را در مخازن تحت فشار ذخیره کرد، در غیر این صورت می‌توان آن را در مخازن کم فشار نگهداری کرد.

## ۲- سمی بودن ماده

در صورتی که ماده ذخیره‌شونده سمی باشد، می‌بایست در مخازنی ذخیره شود که خطر نشت مواد سمی به کمترین مقدار برسد.

## ۳- میزان آتش‌گیری ماده (نقطه اشتعال)

دمای اشتعال پایین‌ترین دمایی است که در آن دما، بخار قابل سوختن از ماده تولید می‌شود. هر چه نقطه اشتعال ماده بالاتر باشد، در دمای بالاتری از آن بخار قابل سوختن تولید می‌شود؛ به‌عنوان مثال نقطه اشتعال بنزین حدود ۴۲- درجه سلسیوس است، بنابراین، بنزین در دمای معمولی دارای بخار قابل سوختن است. در حالی که نقطه اشتعال گازوئیل حدود ۱۲۰ درجه سلسیوس است. هر چه نقطه اشتعال ماده‌ای بالاتر باشد، ذخیره‌سازی آن آسان‌تر و خطرات کمتر هستند.

گازها، سیالات آتش‌گیر و مواد شیمیایی خطرناک مانند اسیدها و بازها و یا سیالاتی که از خود گازهای سمی منتشر می‌کنند می‌بایست درون مخازن در بسته نگهداری شوند.

نکات زیست  
محیطی ۱



## ۱۱-۴- دسته بندی مخازن ذخیره



شکل ۱۳-۴- مخزن ذخیره‌سازی بدون سقف



شکل ۱۴-۴- مخزن ذخیره‌سازی استوانه‌ای کم فشار

برای دسته‌بندی مخازن معیارهای مختلفی از قبیل شکل هندسی (استوانه‌ای یا کره‌ای)، نوع سیال (مایع یا گاز) و فشار بخار ماده وجود دارد. مخازن به‌صورت روباز (بدون سقف) و سقف‌دار ساخته می‌شوند. مخازن بدون سقف در صورتی استفاده می‌شوند که امکان ذخیره‌سازی ماده‌ای، مانند آب، در آن وجود داشته باشد (شکل ۱۳-۴).

با توجه به فشار درون مخزن ذخیره‌سازی، مخازن به دو دسته کم فشار و تحت فشار دسته‌بندی می‌شوند که پرکاربردترین مخازن در صنایع هستند. مخازن کم‌فشار به‌صورت مخازن استوانه‌ای عمودی یا افقی ساخته می‌شوند (شکل ۱۴-۴).

مخازن تحت فشار به‌صورت ظروف استوانه‌ای و کره‌ای ساخته می‌شوند و برای ذخیره‌سازی ترکیباتی استفاده می‌شوند که تحت فشار هستند. (شکل ۱۵-۴).



شکل ۴-۱۵ مخازن تحت فشار

برای حجم‌های کم از مخازن استوانه‌ای افقی، و برای حجم‌های زیاد از مخازن استوانه‌ای عمودی و یا کروی استفاده می‌شود. مایعاتی که دارای فشاربخار پایین هستند، در مخازن استوانه‌ای عمودی ذخیره‌سازی می‌شوند. در حالی که برای ذخیره‌سازی پروپان، بوتان و گاز مایع<sup>۱</sup> که در فشار اتمسفر بخار می‌شوند می‌بایست از مخازن کروی و تحت فشار استفاده کرد. مخازن ذخیره‌سازی مایع بافشار بخار پایین به دو نوع عمده مخازن سقف ثابت و مخازن سقف شناور تقسیم‌بندی می‌شوند.

### مخازن سقف ثابت

سقف این نوع مخازن می‌تواند به صورت مخروطی و یا گنبدی باشد که به بدنه مخزن جوش شده‌اند (شکل ۴-۱۶).

فیلم مربوط به مخازن سقف ثابت را مشاهده کنید و در رابطه با شیوه عملکرد این نوع مخزن بحث کنید.

فیلم ۱



مخازن سقف ثابت در صنایع کاربرد زیادی دارند؛ زیرا بیشتر محصولات دارای فشار بخار پایین هستند و در دمای محیط به صورت مایع باقی می‌مانند. مواد شیمیایی مانند محلول سدیم‌هیدروکسید (NaOH)، آب و هیدروکربن‌های دارای فشار بخار پایین (مثل گازوئیل)، در این نوع مخازن ذخیره‌سازی می‌شوند.



شکل ۴-۱۶- مخازن سقف ثابت: (سمت راست) سقف گنبدی و (سمت چپ) سقف مخروطی

انتخاب قطر و ارتفاع این نوع مخازن به ظرفیت ذخیره‌سازی و میزان فضای در دسترس بستگی دارد.

در مورد کاربرد، مزایا و معایب مخازن با سقف مخروطی و گنبدی گزارش تهیه کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

فعالیت  
آزمایشگاهی ۶

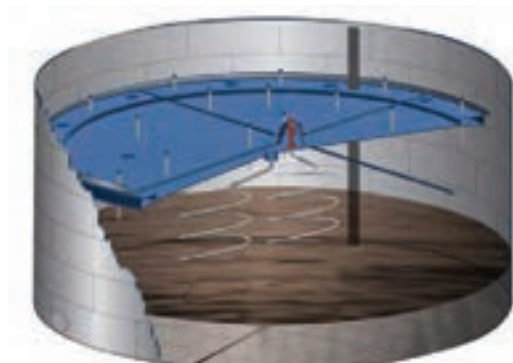


## مخازن سقف شناور

در این نوع مخازن، سقف مخزن به صورت شناور روی سطح مایع قرار دارد و با بالا و پایین رفتن سطح مایع، سقف نیز حرکت می‌کند و با حرکت سقف روی سطح مایع از تبخیر بیشتر مایع جلوگیری می‌شود.

فیلم مربوط به مخازن سقف شناور را مشاهده کنید و در رابطه با شیوه عملکرد این نوع مخزن بحث کنید.

فیلم ۲



شکل ۴-۱۷- مخازن سقف شناور بیرونی

این نوع مخازن برای ترکیباتی که دارای نقطه اشتعال پایین یا فشار بخار بالا هستند، مثل بنزین، کاربرد دارند. این نوع مخازن به دو صورت مخازن سقف شناور بیرونی (شکل ۴-۱۷) و سقف شناور درونی (شکل ۴-۱۸) استفاده می‌شوند.



شکل ۱۸-۴- مخازن سقف شناور درونی

در مخازن سقف شناور بیرونی، سقف در معرض هوای آزاد قرار دارد و در صورت بارش باران و برف، روی آن قرار می‌گیرند. در این حالت می‌بایست مسیر تخلیه روی سقف تعبیه شود تا آب باران و همچنین آبی که برای شست‌وشوی سقف استفاده می‌شود، از طریق لوله‌هایی به روی زمین هدایت شود.

در صورتی که استفاده از سقف شناور بیرونی با مشکل مواجه باشد، می‌بایست از مخازن سقف شناور درونی استفاده کرد. در این مخازن، همان‌گونه که در شکل ۱۸-۴ مشاهده می‌شود، سقف شناور روی سطح مایع قرار دارد و یک سقف دیگر روی بدنه مخزن تعبیه می‌شود تا از انباشت بار اضافی روی سقف شناور جلوگیری شود.

### انتخاب نوع مخزن

نوع مخزن ذخیره‌سازی به نقطه اشتعال ماده و قطر مخزن ذخیره‌سازی بستگی دارد. در جدول زیر شیوه انتخاب مخزن ارائه شده است.

جدول ۱-۴- راهنمای انتخاب مخزن ذخیره‌سازی مایعات (نیازی به حفظ کردن مطالب جدول نیست)

قطر مخزن (بر حسب متر)				نقطه اشتعال ماده
۴۲ - ۷۲	۲۲/۵ - ۳۹	۱۵ - ۲۰	۳ - ۱۲/۵	
مخزن سقف شناور بیرونی	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار پایین / مخزن سقف شناور بیرونی	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار بالا و یا پایین / مخزن سقف شناور درونی یا بیرونی	مخزن سقف ثابت مخروطی با فشار بالا و یا پایین	کمتر از ۲۱°C
	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار پایین / مخزن سقف شناور درونی یا بیرونی	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار پایین / مخزن سقف شناور درونی یا بیرونی	مخزن سقف ثابت مخروطی با فشار پایین	بین ۲۱°C و ۵۵°C
مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی اتمسفری (تا قطر ۶۰ متر)	مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی اتمسفری		مخزن سقف ثابت مخروطی اتمسفری	بیشتر از ۵۵°C

به عنوان مثال، برای ذخیره سازی گازوئیلی که دارای نقطه اشتعال بیش از  $55^{\circ}\text{C}$  در مخزنی که ۱۷ متر قطر دارد، بهتر است از مخزن سقف ثابت مخروطی یا گنبدی با فشار اتمسفری استفاده کرد.

با استفاده از اطلاعات جدول ۱-۴ اگر مخزن ذخیره سازی بنزین دارای قطر ۲۵ متر باشد، چه نوع مخزنی مناسب است؟

پرسش ۱۳



### اندازه گیری نقطه اشتعال

به منظور اندازه گیری نقطه اشتعال، متناسب با نوع ماده نفتی، دستگاه های مختلفی وجود دارد؛ به طور کلی برای ترکیبات سبک، نمونه در یک ظرف سر بسته «الف» و برای ترکیبات سنگین تر در یک ظرف روباز «ب» و «پ» گرما داده می شود.

فعالیت  
آزمایشگاهی ۷



در مورد انواع دستگاه های اندازه گیری نقطه اشتعال و کاربرد آنها برای مایعات نفتی خاص تحقیق کنید و نتایج را در جدول زیر ارائه دهید.

تحقیق کنید ۳



بعضی از دستگاه های اندازه گیری نقطه اشتعال و کاربرد آنها

نوع ظرف	نام دستگاه	مناسب فرآورده های نظیر
بسته		
باز		



پ) دستگاه روباز



ب) دستگاه (خودکار) روباز



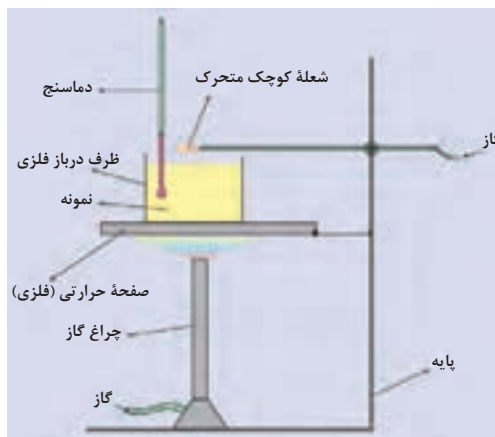
الف) ظرف سر بسته

## اجزای دستگاه تعیین نقطه اشتعال:

ساده‌ترین نوع این دستگاه، ظرف روباز کلیولند است. شکل‌های (الف) و (ب) طرح ساده و تصویر واقعی آن را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۲۰-۴

اجزای دستگاه کلیولند عبارت‌اند از:

- ظرف (فنجان) در باز فلزی به ارتفاع حدود ۳/۳ سانتی‌متر و قطر حدود ۶/۸ سانتی‌متر؛
- صفحه گرمایی فلزی که ظرف در باز بر روی آن و شعله در زیر آن قرار می‌گیرد؛
- شعله کوچک که اندازه آن از شعله کبریت کوچک‌تر است و می‌توان به آسانی آن را از روی سطح نمونه (ظرف در باز) عبور داد. با استفاده از گاز به عنوان سوخت و لوله بلندی که قطر دهانه آن حدود ۰/۸ میلی‌متر باشد، این شعله کوچک و متحرک ساخته می‌شوند؛
- منبع گرمایی که می‌تواند یک گرمکن الکتریکی یا شعله گاز باشد. در هر حالت، نباید شعله آنقدر بالا بیاید که به اطراف ظرف در باز برسد. بدین ترتیب که در صورت استفاده از چراغ گازی، شعله باید صفحه گرمایی را داغ کند. استفاده از گرمکن الکتریکی قابل تنظیم ترجیح داده می‌شود؛
- دماسنج جیوه‌ای با گستره دمایی مناسب (حدود  $^{\circ}\text{C}$  تا  $40^{\circ}\text{C}$ )؛
- پایه و گیره مناسب برای نگهداری صفحه گرمایی و ظرف (فنجان) که بر روی آن قرار می‌گیرد.

## شرح کار دستگاه نقطه اشتعال:

در تجهیزات سرباز نمونه را درون ظرف سربازی می‌ریزند و گرما می‌دهند و هر چند درجه یکبار، شعله‌ای را از روی سطح آن عبور می‌دهند. نقطه اشتعال اندازه گرفته شده در حقیقت با تغییر ارتفاع شعله از سطح مایع متفاوت خواهد شد. در نوع «سربسته» منبع گرمایی را در فضای دربسته‌ای آماده می‌کنند که مایع را در آن ریخته‌اند. در حالت عادی دستگاه‌های سربسته مقدار پایین‌تری را نسبت به نوع سرباز نشان می‌دهند (بین ۵ تا  $10^{\circ}$  درجه سلسیوس).





- ۱- دستگاه در محلی مطمئن و دور از مواد قابل سوختن (حتماً در زیر هواکش کارگاه) قرار گیرد؛
- ۲- برای اینکه هود به‌طور مناسب عمل کند، از باز بودن مسیر جریان هوا در داخل هود اطمینان حاصل کنید؛
- ۳- استفاده از لوازم ایمنی (ماسک، دستکش و عینک) الزامی است.

### روش کار:

- ۱- ابتدا ظرف مخصوص (فنجان) را با حلال مناسب شست‌و‌شو دهید، سپس ظرف را از نمونه (روغن موتور) پُر کنید، به گونه‌ای که سطح مایع حدود یک سانتی‌متر پایین‌تر از لبه ظرف باشد (تاخط نشانه ظرف پر کنید). اگر مقدار نمونه‌ای که داخل ظرف ریخته می‌شود، بیش از مقدار تعیین‌شده باشد، اضافی آن را خارج کنید؛
- ۲- دماسنج باید به شکل عمودی در داخل نمونه قرار گیرد. هنگامی که مطمئن شدید دستگاه آماده است و کلیه اتصالات محکم شده است، گرما دادن به نمونه را آغاز کنید. توصیه می‌شود شدت گرما به گونه‌ای باشد که در ابتدا در هر دقیقه  $15^{\circ}\text{C}$  دمای نمونه افزایش یابد. وقتی که دمای نمونه به حدود  $50^{\circ}\text{C}$  کمتر از نقطه اشتعال تخمینی رسید، شدت گرما را کاهش دهید، به گونه‌ای که در هر دقیقه، ۵ درجه سلسیوس به دمای نمونه اضافه شود.
- ۳- از حدود  $30^{\circ}\text{C}$  پایین‌تر از نقطه اشتعال تخمینی، با افزایش هر  $2^{\circ}\text{C}$  یک بار شعله را از روی سطح نمونه عبور دهید. مدت زمانی که شعله روی سطح روغن قرار می‌گیرد، نباید از حدود یک ثانیه تجاوز کند؛ در صورتی که تخمینی از حدود نقطه اشتعال نمونه ندارید، می‌تواند از همان ابتدا به آهستگی نمونه را گرما دهید. بدین ترتیب که در هر دقیقه  $5^{\circ}\text{C}$  دما را افزایش دهد و با افزایش هر  $2^{\circ}\text{C}$  یک بار شعله را از روی نمونه عبور دهید؛
- ۴- هنگامی که یک جرقه یا سوختن آنی و خفیف (فلاش) در سطح نمونه ظاهر شد، دما را یادداشت کنید. برای افزایش اطمینان از نتایج آزمایش،  $2^{\circ}\text{C}$  از این عدد کم کنید. این دما نقطه اشتعال نمونه (روغن موتور) است.
- ۵- برای تعیین نقطه احتراق، گرما دادن را به همان شکل ادامه دهید، به ترتیبی که هر یک دقیقه حدود  $5^{\circ}\text{C}$  به دمای نمونه افزوده شود و با افزایش هر  $2^{\circ}\text{C}$  شعله کوچک را به سطح نمونه نزدیک کنید. هنگامی که بخارات سطح نمونه آتش گرفت و شعله‌های آن برای ۵ ثانیه ادامه یافت، دما را یادداشت کنید. برای افزایش اطمینان به نتایج آزمایش  $2^{\circ}\text{C}$  از آن کم کنید. این دما نقطه احتراق نمونه را نشان می‌دهد.



مقدار نقطه اشتعال اندازه‌گیری شده براساس نوع دستگاه، کاهش و افزایش دما (در نمونه‌های خودکار)، زمان تخصیص داده‌شده، حجم نمونه و حتی هم‌زدن، نتیجه‌های متفاوتی خواهد داشت؛ لذا ضروری است که آزمایش طبق استاندارد مرتبط انجام شود.

در صورتی‌که نمونه مشتعل شد و شعله‌های آن خاموش نشود، یک درپوش فلزی بر روی ظرف قرار دهید تا با رسیدن هوا به نمونه شعله خاموش شود. گرما دادن را قطع کنید و اجازه دهید دستگاه خنک شود. طبق تعریف، نقطه اشتعال و نقطه احتراق در فشار ۷۶۰ mmHg تعریف شده‌اند. به همین منظور فشار کارگاه را اندازه‌گیری کنید و با استفاده از معادله‌های زیر دماها را تصحیح کنید:

$$C + 0.03(760 - P) = \text{نقطه اشتعال یا احتراق تصحیح شده (}^\circ\text{C)}$$

$$C = \text{نقطه اشتعال یا احتراق اندازه‌گیری شده در فشار کارگاه}$$

$$P = \text{فشار کارگاه بر حسب میلی متر جیوه}$$



- گرما دادن مواد نفتی باید با دقت کامل و رعایت کلیه مسائل ایمنی انجام شود؛
- به هیچ عنوان در دستگاه کلیولند ترکیبات سبک نظیر بنزین را آزمایش نکنید؛
- برای اندازه‌گیری نقطه اشتعال ترکیبات سبک، باید از ظروف سر بسته استفاده کرد.

## ۴-۱۲- ایمنی و کار با مخازن ذخیره

برای هر مخزن ذخیره تجهیزات زیر لازم و ضروری هستند:

**۱- دریچه آدم‌رو:** هر مخزن ذخیره می‌بایست دارای دریچه آدم‌رو باشد تا بتوان برای پاک‌سازی و تعمیرات به راحتی وارد مخزن شد (شکل ۴-۲۱). تعداد این دریچه‌ها برای بدنه و سقف به قطر مخزن بستگی دارد؛ به عنوان مثال، یک دریچه آدم‌رو در سقف برای مخازن تا قطر ۲۰ متر، و دو دریچه برای قطر بالاتر از ۲۰ متر الزامی است.



شکل ۴-۲۱- دریچه آدم‌رو مخزن



هنگام ورود به مخزن، مطمئن باشید که جریان هوا درون مخزن برقرار است، به عنوان مثال باید چند دریچه آدمرو باز باشد تا هوای درون مخزن جریان یابد و هنگام فعالیت درون مخزن با مشکلات تنفسی مواجه نشوید.



شکل ۲۲-۴- ارتفاع سنج  
مغناطیسی روی مخزن

**۲- ارتفاع سنج مایع:** برای اطلاع از ارتفاع مایع درون مخزن، از ارتفاع سنج استفاده می شود که پرکاربردترین آنها ارتفاع سنج مغناطیسی، ارتفاع سنج راداری و ارتفاع سنج فراصوت است. در شکل ۲۲-۴ یک ارتفاع سنج مغناطیسی نشان داده شده است.

**۳- شیر خلأ شکن:** در شرایطی که به علت کاهش ارتفاع مایع، فشار درون مخزن کاهش یابد، ممکن است مخزن دچار آسیب شود. در این حالت شیر خلأ شکن باز شده و هوا وارد مخزن می شود و خلأ از بین می رود.

فیلم عملکرد شیر خلأ شکن را مشاهده کنید و در مورد شیوه عملکرد آن بحث کنید.



شکل ۲۳-۴- صفحه شکست

**۴- صفحه شکست:** صفحه شکست قسمتی از سقف مخزن است که ضعیف تر از سایر قسمت های سقف ساخته می شود. اگر به هر دلیلی فشار مخزن ذخیره سازی بالا یا پایین رود و شیر اطمینان عمل نکند، صفحه شکست پاره می شود و فشار درون مخزن به حالت عادی برمی گردد (شکل ۲۳-۴).

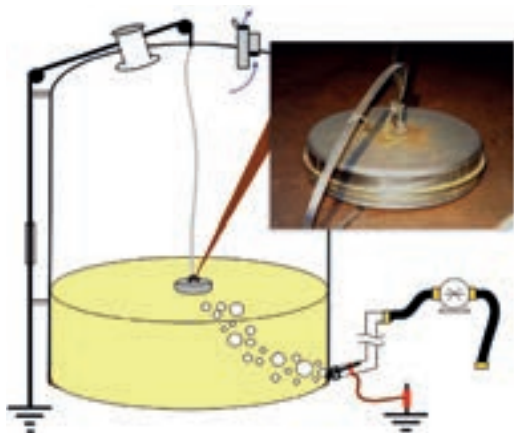
فیلم های عملکرد صفحه شکست و ملاحظات نگهداری آن را مشاهده کنید و درباره شیوه عملکرد آن بحث کنید.



- ۱- Level Gauge
- ۲- Vacuum Breaker Valve
- ۳- Rupture Disk

توجه به موارد زیر از نظر ایمنی برای مخازن الزامی است:

**رنگ مخزن‌ها:** برای کاهش جذب انرژی تابشی خورشید و همچنین جذب گرما از محیط، مخزن‌های محصولات سبک و میان تقطیر مانند بنزین، نفت سفید و گازوئیل به رنگ سفید، رنگ آمیزی می‌شود. در این حالت دمای مایع درون مخزن تغییر چندانی نخواهد داشت و در نتیجه مقدار تبخیر مایع کاهش می‌یابد.



**خطر الکتریسیته ساکن در مخزن:** انتقال مواد نفتی و قابل سوختن، اصطکاک مایعات هنگام جریان در خط لوله و پخش شدن مایعات به قطرات کوچک، همگی باعث بارور شدن مخزن می‌شوند. در این حالت، حتی جرقه کوچکی در حضور بخارات نفتی و هوای موجود درون مخزن باعث ایجاد انفجار و آتش‌سوزی می‌شود. به همین علت می‌بایست مخزن‌ها با سیم به زمین متصل شوند تا بار الکتریسیته ساکن از مخزن به زمین هدایت شود (شکل ۴-۲۴).

شکل ۴-۲۴- تخلیه الکتریسیته ساکن مخزن به زمین



همان‌گونه که در شکل ۴-۲۴ مشخص است، نصب یک وسیله فلزی ساده روی سقف مخزن و اتصال آن به زمین باعث تخلیه بار جمع شده در مخزن می‌شود. اتصال بدنه مخازن به زمین در شکل ۴-۲۵ نشان داده شده است.

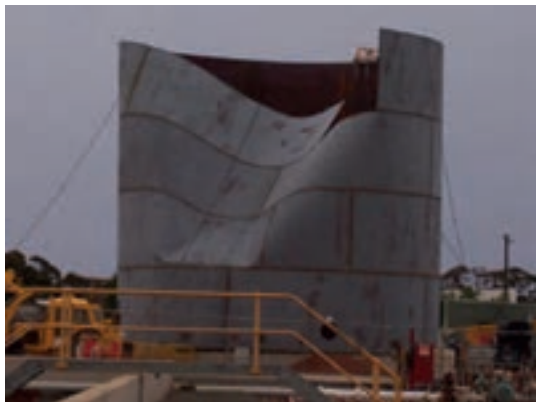
شکل ۴-۲۵- تخلیه الکتریسیته ساکن بدنه مخزن به زمین



برای تخلیه الکتریسیته ساکن در مخازن سقف شناور، نوع دیگری از اتصالات استفاده می‌شود که در شکل ۴-۲۶ نشان داده شده است.

شکل ۴-۲۶- تخلیه الکتریسیته ساکن در مخزن سقف شناور

با توجه به اینکه در مخازن سقف شناور، سطح مایع در تماس با سقف است، اصطکاک ایجاد شده بین مایع و سقف باعث تجمع بار الکتریکی در سقف می‌شود و به همین دلیل بار الکتریکی سقف از طریق سیم به بدنه و سپس به زمین منتقل می‌شود.



**جریان‌های باد:** طراحی مخزن باید به گونه‌ای باشد که در مقابل نیرویی که جریان باد به دیواره مخزن وارد می‌کند، مقاومت داشته باشد. همانند شکل ۴-۲۷ وزش باد شدید می‌تواند ساختار مخزن را دگرگون کند.

شکل ۴-۲۷- آسیب دیدن مخزن به دلیل وزش باد

## ارزشیابی شایستگی پودمان راکتور و مخازن

### شرح کار:

- چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد؛
- هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند؛
- پس از انجام دادن کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

### استاندارد عملکرد:

- توانایی اندازه گیری سرعت واکنش، راکتورهای شیمیایی و کارکردن با مخازن ذخیره طبق دستور کار.

### شاخص ها:

- رعایت مسائل ایمنی در هنگام انجام دادن کار؛
- انجام دادن کار طبق دستور کار.

### شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه      زمان: یک جلسه آموزشی .  
 ابزار و تجهیزات: تجهیزات آزمایشگاهی، راکتور، مخازن ذخیره مایع و وسایل ایمنی شخصی.

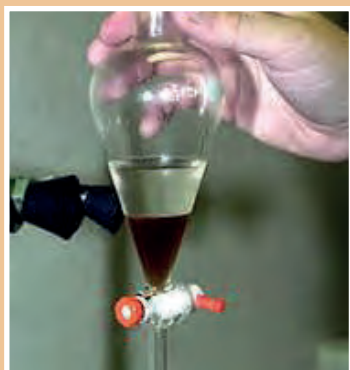
### معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	تعیین سرعت واکنش های شیمیایی	۲	
۲	کار با راکتورهای شیمیایی	۱	
۳	کار با مخازن ذخیره	۱	
<b>شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</b> ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۵- مستندسازی: گزارش نویسی.			
<b>میانگین نمرات</b>			
			*

\* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

## پودمان ۵

# دستگاه‌های جداکننده



جداسازی اجزای یک محلول یا مخلوط از یکدیگر، یکی از مهم‌ترین فرایندهای صنایع شیمیایی است. فرایند جداسازی می‌تواند شامل جدا کردن اجزای یک مخلوط با استفاده از عملیات صاف کردن و غربال کردن و یا جدا کردن اجزای یک محلول از طریق عملیات انتقال جرم مانند تبخیر و تقطیر باشد.

## واحد یادگیری ۵

### کار با دستگاه‌های جداکننده

#### مقدمه

هدف بسیاری از عملیات در صنایع شیمیایی، جداسازی اجزای یک محلول یا مخلوط از یکدیگر و دستیابی به یک ماده خالص است. عملیات جداسازی می‌تواند شامل جدا کردن اجزای یک مخلوط با استفاده از عملیات صاف کردن و غربال کردن (الک کردن) و یا جدا کردن اجزای یک محلول از طریق عملیات انتقال جرم از قبیل تقطیر و استخراج باشد. تقطیر یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین روش‌های جداسازی در صنعت، به‌ویژه صنعت نفت است. محصولات حاصل از تقطیر نفت خام مصارف مهم و حیاتی در زندگی انسان‌ها دارند.

#### استاندارد عملکرد

انجام دادن عملیات انتقال جرم (در صنایع شیمیایی)، کار با برج‌های تقطیر و برج‌های استخراج طبق دستور کار

شایستگی‌های غیر فنی:

- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام دادن وظایف و کارهای محوّل، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به‌موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی، انجام دادن کارها و وظایف محوّل؛
- ۴- مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛
- ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

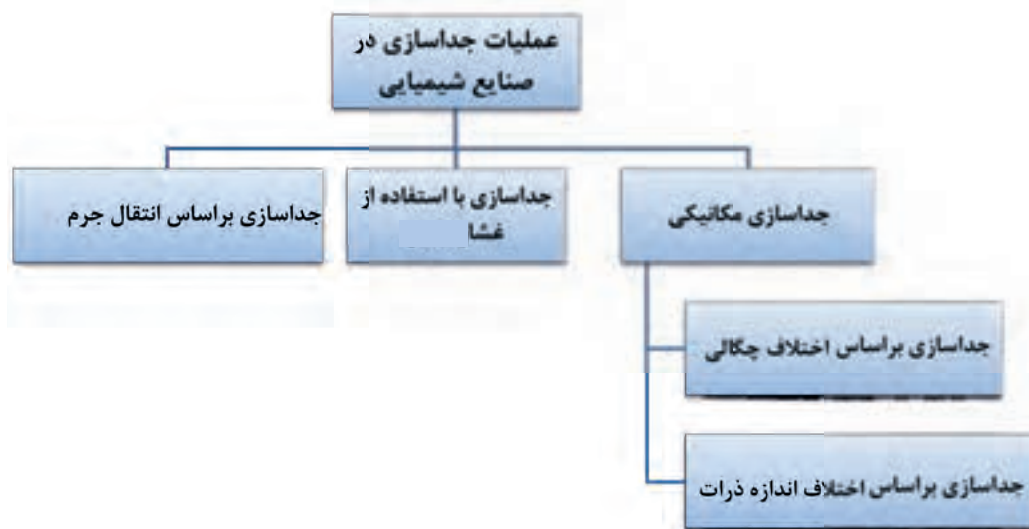
شایستگی‌های فنی:

- ۱- به‌کارگیری روش‌های جداسازی در صنایع شیمیایی؛
- ۲- کار با برج‌های تقطیر؛
- ۳- کار با برج‌های استخراج.



## ۵-۱- روش‌های جداسازی

عملیات جداسازی در صنایع شیمیایی از اهمیت بالایی برخوردار است. در شکل ۵-۱ روش‌های مختلف جداسازی نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- روش‌های مختلف جداسازی

## ۵-۲- جداسازی مکانیکی

### جداسازی مکانیکی بر اساس اختلاف اندازه ذرات

اگر مخلوطی از مواد جامد با اندازه‌های مختلف وجود داشته باشد، می‌توان اجزای آن را به دلیل اختلاف اندازه از هم جدا کرد. الک کردن مواد یک مثال ساده از این نوع جداسازی است.

آیا تاکنون در زندگی روزمره از الک استفاده کرده‌اید؟

پرسش ۱



الک‌ها یا غربال‌ها وسایلی هستند که برای جداسازی ذرات جامد براساس اندازه به کار می‌روند (شکل ۵-۲). در بیشتر آنها این کار بر اساس نیروی جاذبه و با استفاده از دستگاه‌های تکان‌دهنده یا لرزاننده انجام می‌شود. صفحه مشبک الک‌ها به وسیله سیم بافته می‌شود و اندازه سوراخ‌های آن دارای مقدارهای استاندارد و معینی است. برای بیان قطر سوراخ‌های الک‌ها از یکای میکرون یا مش استفاده می‌شود.



ب



الف

شکل ۵-۲ (الف) یک نمونه الک (غربال)، (ب) مجموعه الک‌ها بر روی دستگاه لرزاننده

به‌طور مثال برای الک کردن خاک از تعدادی الک که بر روی یکدیگر چیده شده‌اند و اندازه‌های آنها از بالا به پایین کوچک‌تر می‌شود، استفاده می‌کنند. در شکل ۵-۲ - ب خاک را بر روی الک بالایی می‌ریزند و با یک دستگاه لرزاننده، مجموعه الک‌ها را تکان می‌دهند. بر روی هر الک دانه‌های ریزتر از سوراخ‌های الک عبور می‌کند و ذرات درشت‌تر باقی می‌مانند. به این ترتیب دانه‌های خاک براساس اندازه بر روی هر الک قرار می‌گیرند که به اصطلاح به آن «دانه‌بندی» گفته می‌شود. برای دستیابی به درصد جرمی (وزنی) دانه‌ها بر روی هر الک از تعریف‌های پودمان اول و فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$100 \times \frac{\text{جرم (وزن) دانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک}}{\text{جرم (وزن) خاک اولیه}} = \text{درصد جرم (وزنی) دانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک}$$

### جداسازی بر اساس اختلاف چگالی

اگر مخلوطی از دو ماده با چگالی‌های مختلف وجود داشته باشد، می‌توان اجزای این مخلوط را به کمک (قیف جداکننده) دکانتور از هم جدا کرد.

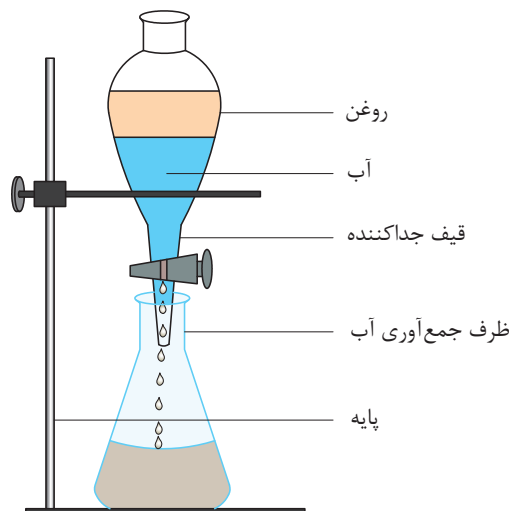
به نظر شما چگونه می‌توان مخلوط آب و روغن را از هم جدا کرد؟

فکر کنید ۱



**(قیف جداکننده) دکانتور:** وسیله‌ای است قیف‌مانند که در انتهای آن یک شیر تعبیه شده است. این وسیله مایعات را بر اساس اختلاف چگالی از هم جدا می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۵-۳ نشان داده شده است. اگر مخلوط آب و روغن در ظرف ریخته شود، روغن که دارای چگالی کمتر است، در بالا قرار می‌گیرد و آب در قسمت پایین قرار می‌گیرد. با باز کردن شیر ظرف، آب از قسمت انتهایی خارج می‌شود تا اینکه به مرز جدایی آب و روغن برسد. در این لحظه شیر ظرف بسته می‌شود و در نتیجه آب و روغن از هم جدا می‌شوند.



شکل ۵-۳- قیف جداکننده

### جداسازی آب و روغن

در یک بشر به مقدار مساوی آب و روغن گیاهی یا آب و نفت بریزید و آن را با یک همزن شیشه‌ای به خوبی مخلوط کنید و سپس مخلوط را در داخل قیف جداکننده بریزید. مطمئن باشید که شیر قیف جداکننده بسته باشد. چند دقیقه صبر کنید تا آب و روغن کاملاً از هم جدا شوند. سپس با باز و بسته کردن شیر آب و روغن را از هم جدا کنید.

فعالیت  
آزمایشگاهی ۱



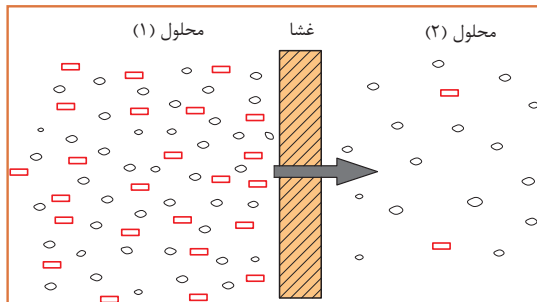
توجه داشته باشید که مجموع حجم آب و روغن یا آب و نفت از حجم قیف جداکننده بیشتر نباشد.

نکته ایمنی ۱



## ۵-۳- جداسازی با استفاده از غشا

غشا لایه‌ای بسیار نازک است که می‌تواند اجزای یک محلول را به‌طور انتخابی جدا کند. در یک فرایند غشایی معمولاً دو محلول وجود دارد که با غشا به‌طور فیزیکی از هم جدا شده‌اند؛ یعنی ارتباط مستقیم بین این دو محلول وجود ندارد. غشا انتقال جرم بین دو محلول را کنترل می‌کند. غشاها دارای سوراخ‌های بسیار ریزی هستند که فقط ذرات خاصی از آنها می‌توانند عبور کنند (شکل ۵-۴)، بنابراین عمل جداسازی انجام می‌شود.



از انواع کاربردهای غشا به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

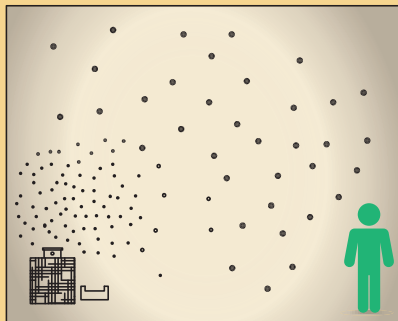
- ۱- شیرین‌سازی آب دریا
- ۲- جداسازی و خالص‌سازی پروتئین‌های آب پنیر
- ۳- حذف ذرات کلوییدی از ماء‌الشعیر

شکل ۵-۴- فرایند انتقال از میان غشا

## ۵-۴- جداسازی بر اساس عملیات انتقال جرم

شکل الف اتاقی را نشان می‌دهد که در یک گوشه آن شیشه‌ی عطری قرار دارد. در پوش شیشه‌ی عطر باز شده است. فردی که در گوشه‌ی دیگر اتاق نشسته است، پس از گذشت لحظه‌ای بوی عطر را احساس می‌کند. به نظر شما چه اتفاقی افتاده است؟

بحث گروهی ۱

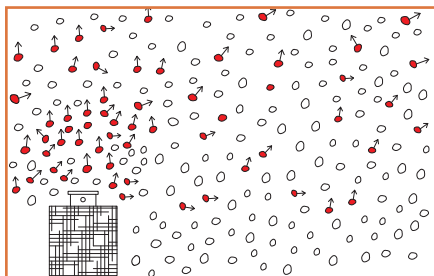


ب



الف

وقتی درپوش شیشه عطر باز می‌شود، مولکول‌های عطر از لابه‌لای مولکول‌های هوا حرکت می‌کند و در اتاق پخش می‌شوند. مولکول‌ها از جایی که غلظت بیشتر است به جایی که غلظت کمتر است حرکت می‌کنند. (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۵- انتقال مولکول‌های عطر به هوا

استشمام بوی عطر در فضای اتاق به معنی انتقال یک ماده یا جرم از مکانی به مکان دیگر است. بنابراین انتقال یک یا چند جزء از یک ماده را از بین ماده دیگر انتقال جرم می‌گویند. عملیات انتقال جرم معمولاً به دو روش انجام می‌شود:

**نفوذ مولکولی:** اگر انتقال جرم فقط به دلیل حرکت مولکول‌ها از لابه‌لای یکدیگر انجام شود، به آن نفوذ مولکولی گفته می‌شود.

**حرکت توده‌ای:** در انتقال جرم توده‌ای، علاوه بر انتقال جرم از طریق نفوذ مولکولی، ماده منتقل‌شونده با حرکت توده سیال نیز منتقل می‌شود.

به نظر شما در اتاق حاوی شیشه عطر در باز، پخش مولکول‌های عطر در هوا به کدام روش انجام می‌شود؟ اگر پنجره اتاق باز باشد و جریان هوایی در اتاق برقرار شود، بوی عطر زودتر به مشام می‌رسد. چرا؟

بحث گروهی ۲



در یک ظرف آب، یک قطره جوهر بریزید. چه اتفاقی می‌افتد؟ اگر با یک همزن شیشه‌ای حرکتی در آب ایجاد کنید، جوهر زودتر در آب پخش می‌شود. چرا؟

فکر کنید ۲





آیا نمونه‌های دیگری از عملیات انتقال جرم را می‌توانید نام ببرید؟

فرض کنید گازهای خروجی از یک کارخانه تولید محصولات شوینده، آلوده به گاز کلر است. کلر یک ماده سمی و آلاینده محیط زیست است. برای رفع این مشکل در کارخانه، این گازها قبل از ورود به محیط زیست، به داخل یک ستون هدایت می‌شوند. گازها در داخل ستون به سمت بالا در حرکت هستند. آب با چند پخش‌کننده به صورت قطرات ریز از بالای ستون به سمت پایین حرکت می‌کند. کلر ماده‌ای است که به آسانی در آب حل می‌شود و به همین علت، ماده کلر موجود در گاز خروجی در اثر تماس با آب در ستون، به داخل آب وارد می‌شود و به این ترتیب گاز خروجی تصفیه می‌شود.



در این عملیات انتقال جرم، کدام دو حالت ماده در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند؟ جزء منتقل‌شونده کدام است؟

تماس مستقیم دو ماده نامحلول در یکدیگر، مهم‌ترین روش در عملیات انتقال جرم است. هر یک از مواد در حال تماس با یکدیگر می‌توانند شامل یک یا چندین جزء باشند. پس از انجام شدن انتقال جرم، اجزای تشکیل‌دهنده هر یک از مواد دارای غلظت‌های متفاوتی خواهند بود. تماس مستقیم دو ماده نامحلول در یکدیگر شامل موارد زیر می‌شود.

### تماس گاز - مایع

تماس گاز - مایع فرایندهای تقطیر، جذب و دفع را شامل می‌شود:

**الف) تقطیر:** تقطیر تماس بخار با مایع در حال جوش است. در این عملیات اجزای سبک‌تر (با نقطه جوش پایین‌تر) به سیال بخار و اجزای سنگین‌تر (با نقطه جوش بالاتر) به سیال مایع منتقل می‌شوند.

**ب) جذب و دفع:** تماس دو فاز گاز و مایع و انتقال یک یا چند جزء از فاز گاز به مایع را عملیات جذب می‌گویند. انتقال کلر از گازهای خروجی یک کارخانه به درون آب، یک نمونه از عملیات جذب است. اگر عکس این عمل اتفاق افتد، یعنی جزء منتقل‌شونده از فاز مایع به گاز منتقل شود، فرایند دفع نامیده می‌شود.

### تماس گاز - جامد

یکی از فرایندهای متداول که در آن فاز گاز و جامد در تماس با هم قرار می‌گیرند، فرایند جذب سطحی است؛ برای مثال، در پالایشگاه‌های گاز، گاز طبیعی به همراه مقداری رطوبت تولید می‌شود. این رطوبت در پالایش گاز عامل مزاحم است و باید حذف شود. برای این منظور گاز طبیعی به داخل ستون‌هایی هدایت می‌شود که با ماده جامد خشک‌کننده پر شده است. رطوبت گاز طبیعی در این فرایند ضمن عبور از اطراف ذرات ماده خشک‌کننده، به سطح این ذرات جذب می‌شود. با پیشروی گاز در ستون تقریباً تمام آب موجود در گاز با ماده خشک‌کننده جامد جذب می‌شود و گاز خشک از انتهای ستون خارج می‌شود.

### تماس مایع - مایع

واحد عملیاتی تماس دو مایع نامحلول در یکدیگر، استخراج مایع - مایع نامیده می‌شود. استخراج مایع - مایع فرایندی است که در آن اجزای موجود در یک محلول مایع، از مایع دیگری که حلال نامیده می‌شود، جدا می‌شود.

### تماس مایع - جامد

متداول‌ترین فرایند تماس مایع - جامد، استخراج جامد - مایع نامیده می‌شود. در این فرایند اجزای موجود در یک مخلوط جامد، توسط یک مایع (حلال) جدا می‌شود.

بارزترین نمونه استخراج مایع - جامد در زندگی روزمره چیست؟

بحث گروهی ۳



به نظر شما، هر یک از فرایندهای جداسازی زیر به چه طریقی انجام می‌شود؟

پرسش ۴



جداسازی با استفاده از غشا	جداسازی با استفاده از عملیات انتقال جرم	جداسازی براساس اختلاف چگالی	جداسازی بر اساس اختلاف اندازه	
				جداسازی سنگریزه‌ها از خاک
				جداسازی گاز کلر از هوا (تماس هوا و آب)
				جداسازی آب از نفت
				دم کردن چای
				تصفیه آب خانگی
				جداسازی گردو خاک از هوا

## ۵-۵- جداسازی به روش تقطیر

فیلم مربوط به تقطیر را مشاهده کنید و در پایان گزارش آن را تهیه کنید.

فیلم ۱



به نظر شما در پالایشگاه‌های نفت، چگونه بنزین و گازوئیل را از نفت خام جدا می‌کنند؟

پرسش ۵



جداسازی مخلوط مایعات به اجزای تشکیل‌دهنده آن، یکی از مهم‌ترین فرایندهای صنایع شیمیایی و نفت است. تقطیر یکی از روش‌های اصلی و متداول است که برای جداسازی مخلوط مایعات به کار می‌رود.

تقطیر فرایندی است که در آن اجزای یک مخلوط مایع یکنواخت (محلول)، به دلیل اختلاف در نقطه جوش از یکدیگر جدا می‌شوند. تقطیر بر اساس دو فرایند تبخیر و مایع شدن (میعان) انجام می‌شود. به اجزایی از این مخلوط مایع که نقطه جوش بالایی دارند، اجزای سنگین و به اجزایی که نقطه جوش پایین‌تری دارند، اجزای سبک یا فرّار گفته می‌شود.

چه رابطه‌ای بین نقطه جوش، قابلیت تبخیر و فشار بخار مواد وجود دارد؟

پرسش ۶



### قابلیت تبخیر

اصطلاح قابلیت تبخیر، نشان‌دهنده کیفیت تبخیر یک مایع است. مایعاتی که به آسانی به بخار تبدیل می‌شوند، دارای قابلیت تبخیر زیاد و مایعاتی که به سادگی بخار نمی‌شوند، قابلیت تبخیر کمی دارند. وقتی نقطه جوش مایعی پایین باشد، فشار بخار و قابلیت تبخیر آن زیاد است و برعکس مایعی که دارای نقطه جوش بالایی است، فشار بخار و قابلیت تبخیر کمی دارد.

برای دو هیدروکربن هگزان و پنتان جدول زیر را کامل کنید.

تحقیق کنید ۱



جرم مولکولی	فشار بخار	نقطه جوش	ماده
			پنتان
			هگزان





با توجه به رابطه بین نقطه جوش و جرم مولکولی جمله زیر را کامل کنید:  
هر چه جرم مولکولی یک ماده ..... باشد، نقطه جوش آن ماده ..... است.

فرض کنید مخلوطی مساوی از دو ماده پنتان و هگزان وجود دارد. این مخلوط را داخل ظرفی ریخته، آن را گرما می‌دهیم. با رسیدن دمای مخلوط به دمای نقطه جوش پنتان، پنتان شروع به تبخیر شدن می‌کند. با ادامه گرما دادن و افزایش دمای مخلوط، هگزان نیز به همراه پنتان تبخیر می‌شود؛ اما چون نقطه جوش هگزان بیشتر از پنتان است، میزان تبخیر آن کمتر از پنتان خواهد بود؛ بنابراین بخارات خارج شده از ظرف دارای مقدار بیشتری پنتان هستند و مایع باقی‌مانده در ظرف، هگزان بیشتری دارد.

فرایند تقطیر به دو روش زیر انجام می‌شود:

۱- تقطیر ساده یا یک مرحله‌ای؛

۲- تقطیر چند مرحله‌ای.

### تقطیر ساده



آیا تا به حال از گلاب‌گیری شهر کاشان بازدید داشته‌اید؟ به نظر شما گلاب‌گیری کدام یک از روش‌های جداسازی است؟

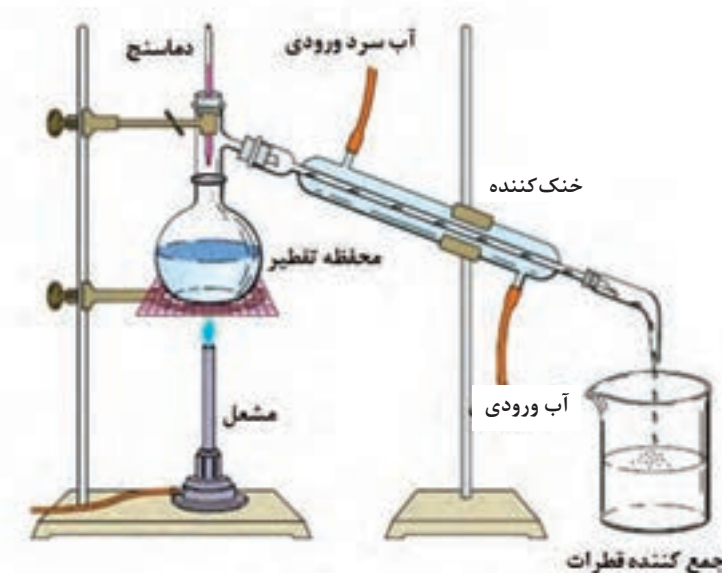


تقطیر ساده یکی از ساده‌ترین روش‌های جداسازی است. در این روش ابتدا خوراک مایع را به مخزن تقطیر وارد می‌کنند و گرما می‌دهند. در اثر جوشیدن مایع، قسمتی از آن بخار می‌شود و از بالای مخزن وارد یک خنک‌کننده (مبرد) می‌شود و تبدیل به مایع می‌شود. این بخار مایع شده، نسبت به مایع باقی‌مانده در مخزن، دارای اجزای سبک‌تر بیشتری است و مایع باقی‌مانده در مخزن اجزای سنگین‌تر بیشتری دارد. بدین ترتیب محلول اولیه به دو محصول سبک و سنگین تبدیل شده است.



## جداسازی آب از اتانول به روش تقطیر ساده

مواد مورد نیاز	وسایل مورد نیاز
آب اتانول	بالن ته‌گرد، خنک‌کننده، دماسنج، پایه و گیره، سه‌راهی شیشه‌ای، سنگ جوش، ظرف جمع‌آوری و گرم‌کن



شکل ۶-۵- سامانه تقطیر ساده

### روش کار:

- ۱- مقدار مساوی از آب و اتانول را در بالن ته‌گرد بریزید و درون آن تعدادی سنگ جوش بیندازید؛
- ۲- اگر برای گرما دادن از شعله استفاده می‌کنید، بالن را در چند سانتی‌متری از توری نسوز با یک گیره به پایه متصل کنید. اگر وسیله گرم‌کننده دستگاه برقی است، بالن را مستقیم روی دستگاه قرار دهید و اگر از حمام گرم استفاده می‌کنید، بالن را تا گردن وارد حمام کنید؛
- ۳- دماسنج را در سه‌راهی قرار دهید و سه‌راهی را به سر بالن نصب کنید؛
- ۴- خنک‌کننده را به سه‌راهی وصل کنید و بلافاصله آن‌را با گیره محکم کنید؛
- ۵- شیلنگ‌های ورودی و خروجی آب سرد را به خنک‌کننده وصل کنید و جریان آب را به اندازه کافی باز کنید؛

- ۶- در خروجی خنک‌کننده یک ظرف مناسب برای جمع‌آوری محصول قرار دهید؛
- ۷- بعد از اطمینان از اتصال اجزای دستگاه، وسیله گرم‌کننده را روشن کنید؛
- ۸- دما را در حدود ۸۰ درجه سلسیوس ثابت نگه دارید؛
- ۹- پس از اینکه نصف محلول داخل بالن تبخیر شد، وسیله گرم‌کننده را خاموش کنید؛
- ۱۰- کمی تأمل کنید تا تمام بخارات داخل خنک‌کننده به‌طور کامل به مایع تبدیل شود؛
- ۱۱- میزان تقریبی اتانول موجود در ظرف جمع‌آوری محصول را اندازه‌گیری کنید.

نکته



به نکات زیر پیش از شروع آزمایش توجه کنید:

- بالن ته‌گرد را به میزان یک سوم تا دو سوم آن از آب و الکل پر کنید. اگر مقدار محلول بیش از دو سوم حجم بالن ته‌گرد باشد، احتمال پاشیدن محلول به درون خنک‌کننده وجود دارد.
- مخزن دماسنج باید پایین‌تر از شاخه جانبی سه راهی قرار گیرد تا دمای جوش را به‌درستی نشان دهد.
- محل ارتباط لوازم شیشه‌ای را قبل از اتصال با گریس یا وازلین چرب کنید تا در پایان کار به راحتی از هم جدا شوند.

نکته ایمنی ۲



- از سالم بودن بالن ته‌گرد اطمینان حاصل کنید؛
- بالن ته‌گرد را نباید تا خشک شدن و تبخیر کامل محلول گرما داد؛
- استفاده از لوازم و وسایل ایمنی شخصی (روپوش آزمایشگاهی، عینک و دستکش) الزامی است؛
- در هنگام استفاده از لوازم شیشه‌ای و گرما دادن، دقت بالایی داشته باشید.



۱- محصول به دست آمده از فعالیت عملی تقطیر ساده، دارای چند درصد الکل اتانول است؟ آیا می‌توان این محلول را دوباره تقطیر کرد تا به اتانول با درجه خلوص بالاتر دست یافت؟

۲- تقطیر ساده برای چه محلول‌هایی مناسب است؟

### تقطیر چند مرحله‌ای

تقطیر ساده، یک فرایند تک‌مرحله‌ای است و به همین علت محصول این روش، خلوص بالایی ندارد. برای افزایش میزان خلوص می‌توان محصول مایع به دست آمده را دوباره وارد مخزن تقطیر کرد و عملیات تقطیر را تکرار نمود و این فرایند را تا جایی ادامه داد که محصول به دست آمده به خلوص مطلوب برسد. بنابراین از چندین دستگاه تقطیر پشت سر هم باید استفاده کرد. به این روش تقطیر چند مرحله‌ای گفته می‌شود؛ اما این روش به دلیل اینکه به صورت ناپیوسته انجام می‌شود و به فضای بسیار بزرگی نیاز دارد، در مقیاس صنعتی (به طور مثال در پالایشگاه) امکان‌پذیر نیست. برای حل این مشکل برج‌های تقطیر طراحی شده‌اند که در آنها فرایند تقطیر چند مرحله‌ای به صورت پیوسته انجام می‌شود. فرایند تقطیر چند مرحله‌ای دارای برج‌های تقطیر سینی‌دار و برج‌های آکنده (یا پرشده حاوی) آکنه است.

### برج تقطیر سینی‌دار

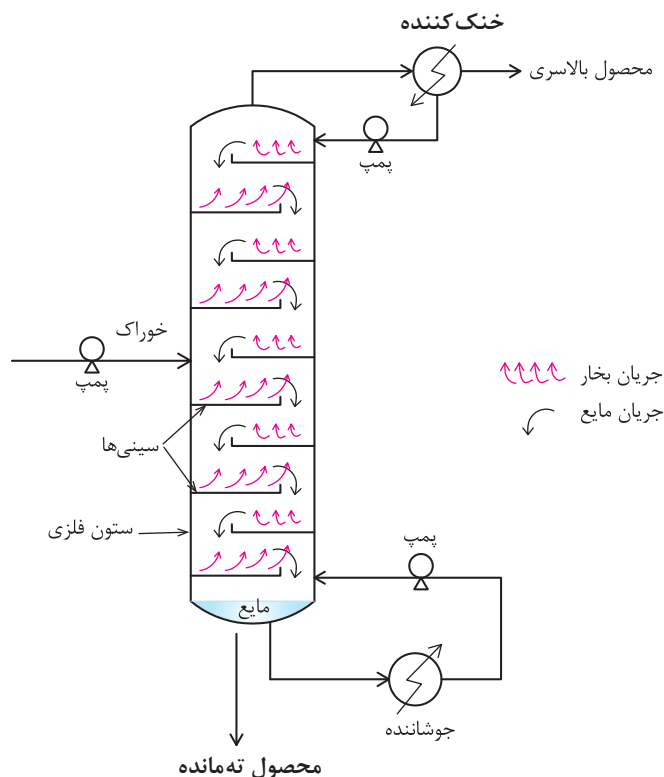
یکی از پرکاربردترین برج‌های تقطیر در صنعت، برج تقطیر سینی‌دار است. این برج تقطیر استوانه‌ای است از جنس فلز که با سینی‌های سوراخ‌دار افقی به چندین قسمت تقسیم شده است. در این برج، هر سینی نقش یک مرحله تقطیر ساده را دارد. یک طرح کلی از برج تقطیر سینی‌دار در شکل ۷-۵ نشان داده شده است. برج تقطیر سینی‌دار از بخش‌های اصلی زیر تشکیل شده است.

۱- ستون (برج)؛

۲- سامانه جوشاننده؛

۳- سامانه خنک‌کننده؛

۴- سینی‌ها.



شکل ۷-۵- برج تقطیر چند مرحله‌ای

در فرایند تقطیر، سامانه جوشاننده گرمای لازم برای انجام شدن عمل تقطیر و جداسازی اجزای یک محلول را تأمین می‌کند. بخار ایجادشده به وسیله جوشاننده از پایین وارد برج می‌شود و به سمت بالا حرکت می‌کند. بخار بالارونده در برج با مایعی تماس می‌یابد که به سمت پایین برج بر روی سینی‌ها جریان دارد. با تماس مایع و بخار داغ بر روی هر سینی، قسمتی از گرمای بخار به مایع منتقل می‌شود و بخشی از ترکیبات فرار مایع تبخیر می‌شوند و وارد بخار می‌گردند. بخشی از ترکیبات سنگین بخار نیز با از دست دادن گرما مایع می‌شود و به مایع پایین‌رونده در برج می‌پیوندد. بدین ترتیب با پیشروی بخار در برج، به تدریج مقدار اجزای سنگین آن کم شده و از اجزای سبک‌تر غنی می‌شود و مایعی که به سمت پایین برج در حرکت است، از اجزای سنگین‌تر غنی می‌شود. بخارهای خروجی از بالای برج وارد یک خنک‌کننده شده و به مایع تبدیل می‌شوند. قسمتی از این مایع به عنوان محصول بالاسری برج جمع‌آوری شده و قسمتی دیگر به برج برگردانده می‌شود، که به آن مایع برگشتی گفته می‌شود. مایعات جمع‌شده در انتهای برج نیز خارج شده، قسمتی از آن به عنوان محصول ته‌ماند جمع‌آوری می‌شود و باقیمانده وارد سامانه جوشاننده می‌شود تا به بخار تبدیل شود. بخار خروجی از جوشاننده به داخل برج بازگردانده می‌شود. خوراک ورودی به برج می‌تواند به صورت مایع و یا ترکیبی از مایع و بخار باشد، محل ورود خوراک را خط خوراک می‌نامند.

به نظر شما چرا بخشی از محصول بالای برج، به داخل برج بازگردانده می‌شود؟

تحقیق کنید ۲

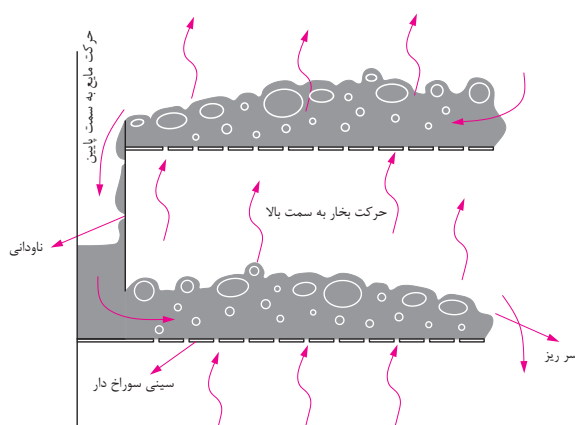




فیلم مربوط به شیوه حرکت مایع و بخار در داخل برج تقطیر را مشاهده کنید و گزارش آن را تهیه کنید.

### شیوه حرکت مایع و بخار در داخل برج تقطیر

شکل ۵-۸ طرح ساده‌ای از شیوه جریان بخار و مایع را بر روی سینی‌ها نشان می‌دهد. مایع وارد شده به داخل برج، از روی سینی‌های سوراخ‌دار عبور کرده و از طریق ناودانی به سمت سینی پایینی حرکت می‌کند. بخار نیز از پایین سینی و از طریق سوراخ‌های سینی به طرف بالا حرکت می‌کند و بدین ترتیب در روی هر سینی مایع و بخار در تماس با هم قرار می‌گیرند و اجزای سبک در مایع به بخار و اجزای سنگین در بخار به مایع منتقل می‌شوند.



شکل ۵-۸- شیوه حرکت مایع و بخار در داخل برج تقطیر

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، برای نگه‌داشتن مقدار معینی مایع روی هر سینی از سرریز استفاده می‌شود. وقتی که ارتفاع مایع بالاتر از ارتفاع سرریز شد، مایع از طریق ناودانی به سینی پایینی منتقل می‌شود.

چرا مایعی که بر روی سینی‌های سوراخ‌دار جریان دارد، از سوراخ سینی‌ها به پایین نمی‌ریزد؟

مهم‌ترین انواع سینی‌های برج‌های تقطیر عبارت‌اند از: سینی‌های غربالی، سینی‌های دریچه‌ای و سینی‌های کلاهکی (شکل ۵-۹).



سینی غربالی



سینی دریچه‌ای

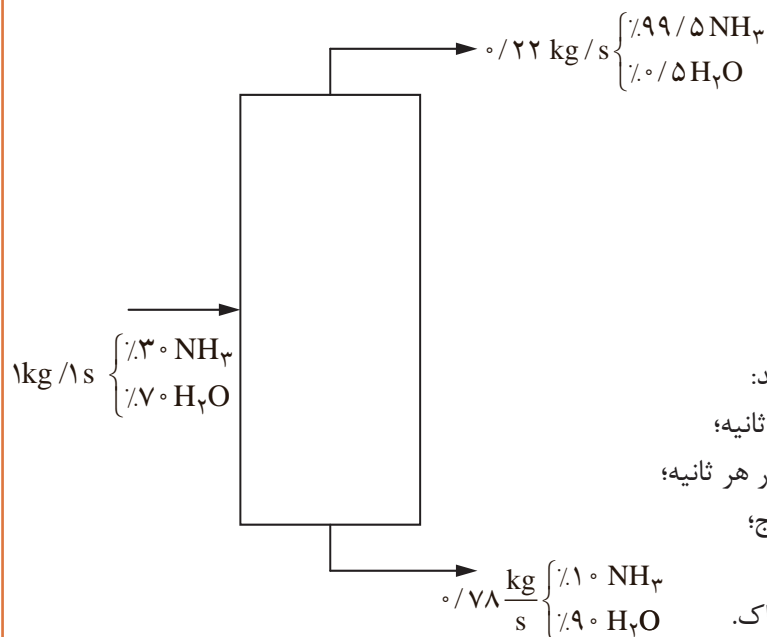


سینی کلاهکی

شکل ۵-۹- انواع سینی‌های برج تقطیر



گزارشی از جداسازی آب و آمونیاک در یک برج تقطیر سینی‌دار طبق شکل مشاهده می‌شود. در این برج در هر ثانیه یک کیلوگرم محلول  $30^\circ$  درصد جرمی آمونیاک در آب، به صورت خوراک وارد برج می‌شود و از بالای برج  $22^\circ$  کیلوگرم در ثانیه و از پایین برج  $78^\circ$  کیلوگرم در ثانیه محصول خارج می‌شود.



هر یک از موارد زیر را محاسبه کنید:

- ۱- میزان آب ورودی به برج در هر ثانیه؛
- ۲- میزان آمونیاک ورودی به برج در هر ثانیه؛
- ۳- آب موجود در محصول بالای برج؛
- ۴- میزان آمونیاک جدانشده از آب؛
- ۵- بازده جداسازی آمونیاک از خوراک.

### جداسازی آب و اتانول با استفاده از برج تقطیر سینی‌دار



مواد لازم	وسایل لازم
آب	برج تقطیر سینی‌دار
اتانول	

## روش کار:

محلول حاوی مقادیر مساوی از آب و اتانول تهیه کنید.  
طبق دستور کار برج تقطیر موجود در آزمایشگاه، آب را از اتانول جدا کنید.

چگونگی فرایند تقطیر در برج‌های سینی‌دار را مشاهده کنید و گزارش آن را تهیه کنید.

در مورد ملاحظات زیست - محیطی پالایشگاه گزارشی تهیه کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

فیلم ۳



فعالیت  
گروهی ۱



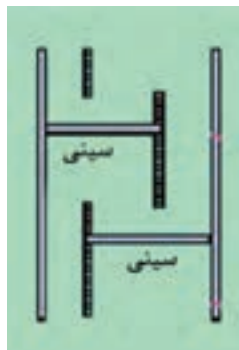
پرسش ۱۲



- ۱- به نظر شما اگر میزان جریان بخار نسبت به مایع از یک حدی کمتر باشد، چه اتفاقی خواهد افتاد؟
- ۲- اساس فرایند جداسازی در صافی‌ها و الک‌ها، اندازه ذرات می‌باشد. تفاوت این دو روش چیست و هر کدام برای چه حالتی از ماده (گاز، مایع، جامد) مناسب هستند؟
- ۳- همان‌طور که در این پودمان به آن اشاره شد مایعاتی که دارای اختلاف چگالی هستند را می‌توان توسط قیف جداکننده از هم جدا کرد. آیا جامدات را نیز می‌توان بر اساس اختلاف چگالی از هم جدا کرد؟ مثال بزنید.



- ۴- شیوه جریان بخار و مایع در یک برج تقطیر را بر روی شکل زیر مشخص کنید.

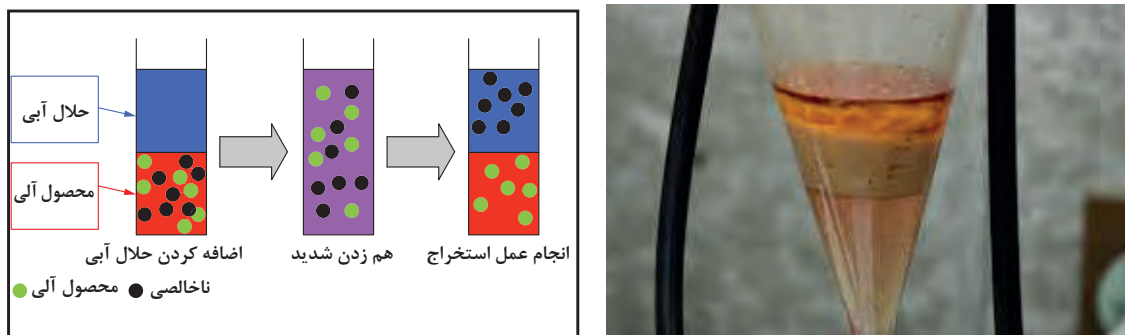


- ۵- کدام یک از سینی‌ها برای استفاده در ستون‌های تقطیر رایج‌تر است؟ چرا؟
- ۶- اگر فشار بخار بالارونده از سوراخ سینی‌ها کم باشد، چه اتفاقی می‌افتد و چه تأثیری بر بازده برج دارد؟



## ۶-۵- جداسازی به روش استخراج

استخراج فرایندی است که در آن اجزای موجود در یک محلول مایع یا مخلوط جامد، به وسیلهٔ مایع دیگر (حلال<sup>۱</sup>) جدا می‌شود. زمانی که عمل استخراج با مایعی از یک مخلوط جامد صورت پذیرد، آن را فرایند استخراج جامد - مایع<sup>۲</sup> می‌گویند و زمانی که فاز اولیه که جداسازی از آن صورت می‌پذیرد، مایع باشد، فرایند را استخراج مایع - مایع می‌نامند (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۱۰- استخراج مایع - مایع

یک فرایند استخراج جامد - مایع معمولی را نام ببرید.

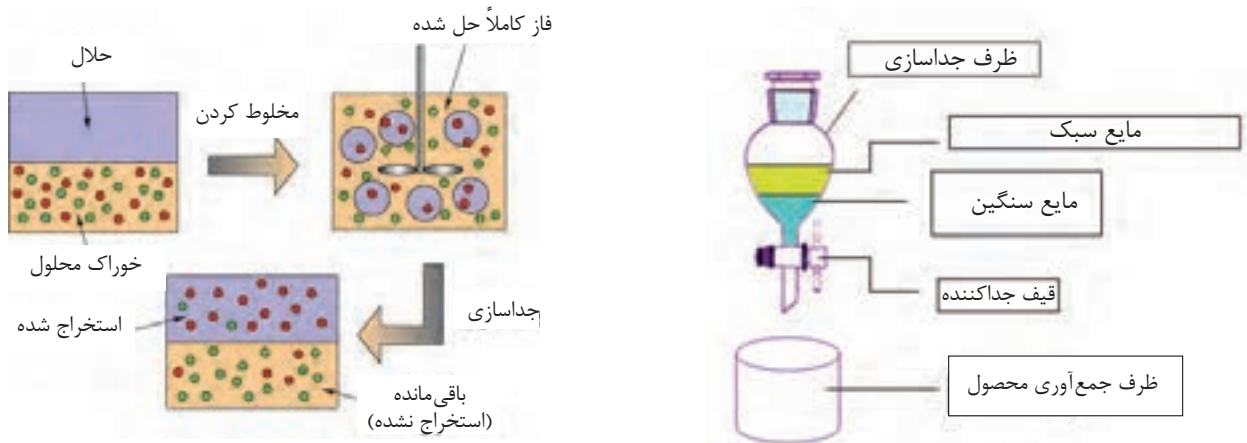
پرسش ۱۳



### استخراج مایع - مایع

در فرایند استخراج مایع - مایع، محلولی که استخراج از آن انجام می‌شود، خوراک<sup>۳</sup> نامیده می‌شود و مایعی را که خوراک با آن در تماس قرار می‌گیرد تا جزء حل‌شونده<sup>۴</sup> از آن جدا شود، حلال می‌نامند. پس از تماس خوراک و حلال و انتقال جزء حل‌شونده از خوراک به آن، محصولی را که از حلال غنی است، فاز استخراج شده<sup>۵</sup> و مایع باقی‌مانده را که حل‌شونده از آن جدا شده، فاز پس‌مانده<sup>۶</sup> می‌نامند. شرط اصلی برای انجام شدن این فرایند، اختلاف چگالی بین حلال و خوراک است تا حل‌شونده از آن جدا شود. مطابق با شکل ۵-۱۱، حلال و خوراک تماس پیدا می‌کنند و درهم آمیخته می‌شوند تا حلال بتواند جزء حل‌شونده را در خود حل کند، سپس به این مخلوط زمان داده می‌شود تا بر اثر اختلاف چگالی، دو فاز استخراج شده و پس‌مانده از هم جدا شوند.

- ۱- Solvent
- ۲- Leaching
- ۳- Feed
- ۴- Solute
- ۵- Extract
- ۶- Raffinate



شکل ۱۱-۵ فرایند استخراج مایع - مایع

فیلم ۴

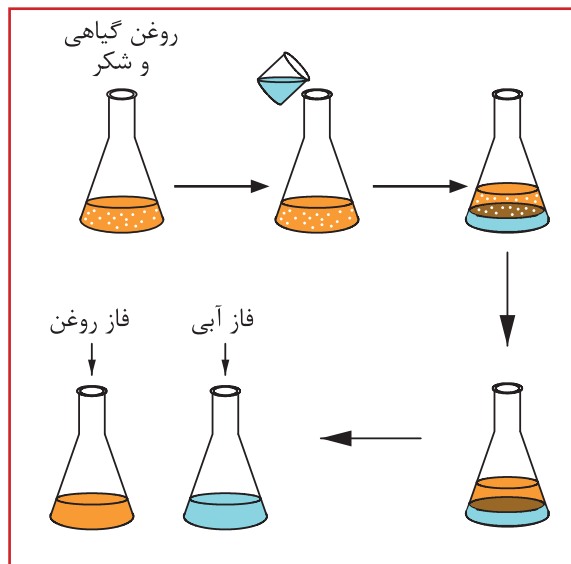


فیلم استخراج مایع - مایع را مشاهده کنید و گزارش آن را تهیه کنید.

فعالیت  
آزمایشگاهی ۳



۱- مقدار ۳ گرم شکر را در ۳۰ میلی‌لیتر روغن گیاهی مایع بریزید و مخلوط را به خوبی تکان دهید. شکر را از مخلوط جدا کنید. آیا به نظر شما صاف کردن این مخلوط راه‌حل مناسبی است؟ چه راه‌حل دیگری را پیشنهاد می‌کنید؟ دلیل جدایی آب و روغن و تشکیل دو فاز مجزا چیست؟  
۲- روغنی را که بر روی آب قرار گرفته است از بشر خارج کنید. در این آزمایش جزء حل‌شونده (شکر) را از روغن با حلال (آب) با روش استخراج مایع - مایع جدا کرده‌اید.



شکل ۱۲-۵ - جداسازی شکر از روغن با استخراج مایع - مایع

### کاربردهای استخراج مایع - مایع

استخراج مایع - مایع به دلیل یکی از شرایط زیر به‌عنوان فرایند جداسازی استفاده می‌شود:  
 الف) در مواقعی که جداسازی لازم است در دمای پایین انجام شود تا جزء حل‌شونده تجزیه حرارتی نگردد؛  
 ب) در مواقعی که مقدار جزء حل‌شونده بسیار کم است و عمل تقطیر موجب صرف انرژی بیش از حد برای تغییر فاز مواد از حالت مایع به بخار می‌شود.  
 پ) مواقعی که نقطه جوش مواد به هم نزدیک است و تقطیر باعث تبخیر همه مواد بدون جداسازی شود.

به نظر شما در هریک از فرایندهای زیر، به چه دلیل عمل استخراج مایع - مایع پیشنهاد می‌شود؟  
 الف) جداسازی اسیداستیک از آب در غلظت‌های کم؛  
 ب) جداسازی اسیدهای چرب و ویتامین‌ها از روغن‌های گیاهی؛  
 پ) جداسازی آنتی‌بیوتیک‌ها از فاز آبی.





مزیت روش استخراج مایع - مایع در این است که برخلاف فرایند تقطیر، انرژی کمتری نیاز دارد. از توضیحات ارائه شده در فرایند استخراج مایع - مایع، مشخص شد که جداسازی حل شونده از حلال نیاز به تقطیر و مصرف انرژی هم دارد. آیا بهتر نیست از همان ابتدا، حل شونده از مخلوط با تقطیر جدا شود؟

## انتخاب حلال

حلالی که برای استخراج مایع - مایع انتخاب می شود، باید خواص زیر را داشته باشد:  
 الف) حلال باید بتواند حل شونده را بیش از دیگر اجزای موجود در خوراک در خود حل کند؛  
 ب) نقطه جوش حلال و حل شونده با هم اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشته باشد تا بتوان آنها را به راحتی با فرایند تقطیر جدا کرد؛  
 پ) چگالی حلال باید با چگالی خوراک اختلاف قابل قبولی داشته باشد تا بتوان آنها را از هم جدا کرد؛  
 ت) حلال باید در تماس با خوراک و حل شونده پایدار بماند و با آنها وارد واکنش شیمیایی نشود.



به نظر شما حلال باید چه ویژگی‌های دیگری داشته باشد تا فرایند استخراج مایع - مایع ایمن تر و اقتصادی تر انجام شود؟



به نظر شما فرایند استخراج چه مزایا و معایبی از نظر محیط زیست دارد؟

## محاسبات استخراج

برای محاسبه مقدار جزء حل شونده که از خوراک وارد حلال می شود، از ضریبی به نام ضریب توزیع<sup>۱</sup> استفاده می شود که آن را با  $K_D$  نشان می دهند. این ضریب به صورت ذیل تعریف می گردد:

$$K_D = \frac{\text{غلظت حل شونده در فاز استخراج شده}}{\text{غلظت حل شونده در فاز باقی مانده}}$$



به نظر شما برای آنکه فرایند استخراج مایع - مایع امکان‌پذیر باشد، ضریب توزیع باید چه مقداری داشته باشد؟

### مثال ۱:

برای جدا سازی پنی سیلین از یک محلول آبی، از حلال متیل استات استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در ۲/۰۵ میلی لیتر از خوراک، ۰/۰۹۷ گرم پنی سیلین وجود دارد. در آزمایشگاه، به این خوراک ۱/۹۷ میلی لیتر متیل استات اضافه شده است و ۰/۰۵۹ گرم پنی سیلین از خوراک خارج شد. مطلوب است محاسبه ضریب توزیع پنی سیلین در حلال.

$$\text{غلظت پنی سیلین در فاز استخراج شده} = \frac{0/059}{1/97} \approx 0/02995 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

$$\text{غلظت پنی سیلین در فاز پسماند} = \frac{0/097 - 0/059}{2/05} \approx 0/01853 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

محلول حاوی ۵۰ میلی لیتر آب و ۵ میلی مول بنزوییک اسید است. به این محلول ۲۰ میلی لیتر دی کلرومتان اضافه شده است و پس از هم زدن، به مخلوط اجازه داده می‌شود تا فاز پس مانده و استخراج شده از هم جدا شوند. نتایج نشان می‌دهد که ۰/۸۸ میلی مول بنزوییک اسید در فاز آبی باقی می‌ماند. مطلوب است محاسبه ضریب توزیع بنزوییک اسید در حلال دی کلرومتان و بازده استخراج تک مرحله‌ای.



$$\text{بازده استخراج} = \frac{\text{مقدار حل شونده در فاز استخراج شده}}{\text{مقدار حل شونده در خوراک}} \times 100$$



- ۱- در صنایع پالایش روغن موتور از روش استخراج مایع - مایع چه استفاده‌ای می‌شود؟
- ۲- آیا می‌توانید برای فرایند استخراج مایع - مایع در صنایع هسته‌ای، کاربردی را بیابید؟

## ۷-۵- دستگاه‌های استخراج

همان‌طور که ذکر شد، شرط امکان‌پذیری فرایند استخراج مایع - مایع، اختلاف چگالی بین خوراک و حلال است. نقش اصلی یک دستگاه استخراج آن است که یکی از فازها (حلال یا خوراک) را در دیگری پخش کند تا عمل انتقال حل‌شونده از خوراک به حلال صورت بگیرد و سپس فازهای استخراج‌شده و پس‌مانده از یکدیگر جدا شوند. به‌عنوان مثال استون و آب تشکیل خوراکی را می‌دهند که جداسازی استون از آن با حلال تولوئن امکان‌پذیر است. تولوئن به‌خوبی استون را در خود حل می‌کند. اما در آب حل نمی‌شود. پس برای جداسازی می‌توان ستونی را از آب و استون پرکرد و تولوئن را که چگالی کمتری نسبت به آب دارد، از پایین در داخل ستون و به‌صورت قطرات وارد کرد. تولوئن به‌صورت قطرات در برج بالا می‌رود و استون را در خود حل می‌کند. در این فرایند آب را فاز پیوسته<sup>۱</sup> و تولوئن را فاز پراکنده<sup>۲</sup> می‌نامند.



چرا استون از آب جدا شده و در تولوئن حل می‌شود؟  
محل تزریق فاز پراکنده (بالا یا پایین برج) بر چه اساسی انتخاب می‌شود؟  
در فرایند جداسازی استون از آب به‌وسیله تولوئن، نقشه یا شکل ساده‌ای را برای برج جداسازی ارائه کنید.

بر اساس توضیحات فوق، می‌توان نتیجه گرفت که یک استخراج‌کننده سه عمل اصلی زیر را انجام می‌دهد:  
الف) حلال و خوراک را در تماس با هم قرار می‌دهد.

ب) فاز پراکنده را به‌صورت قطرات درمی‌آورد تا سطح تماس دو فاز بیشتر شود.

پ) فاز استخراج‌شده و پس‌مانده را پس از تبادل جزء حل‌شونده، از هم جدا می‌کند.

مطابق با شکل ۱۳-۵، دستگاه‌های استخراج را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد که عبارت‌اند از:

۱- مخلوط و ته‌نشین‌کننده<sup>۳</sup>

۲- تماس‌دهنده‌های ستونی<sup>۴</sup>

۳- استخراج‌کننده‌های گریز از مرکز<sup>۵</sup>

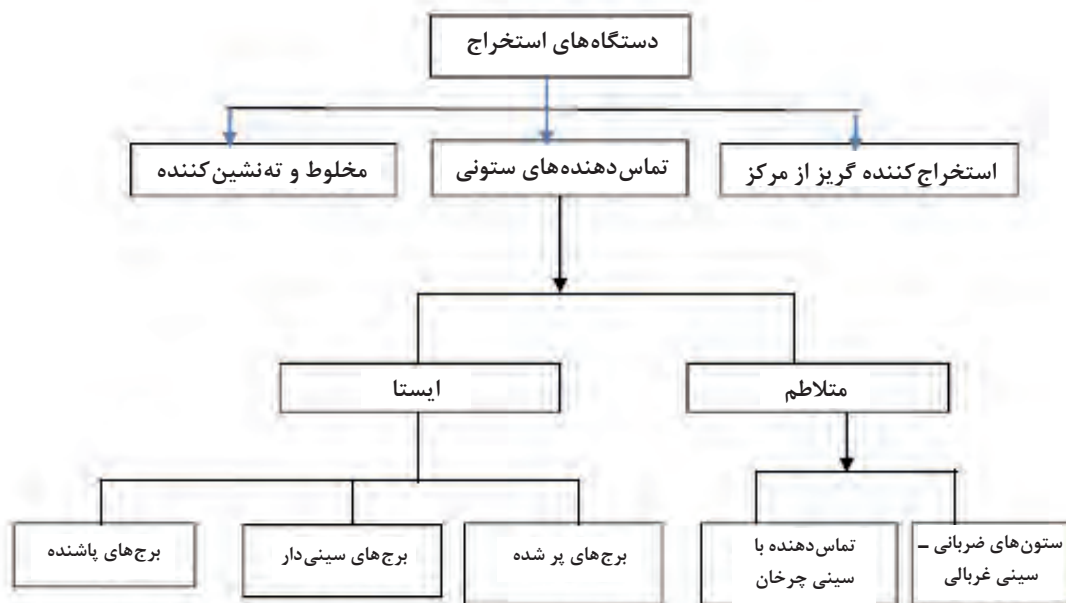
۱- Continuous Phase

۲- Dispersed Phase

۳- Mixer-Settler

۴- Column Contactors

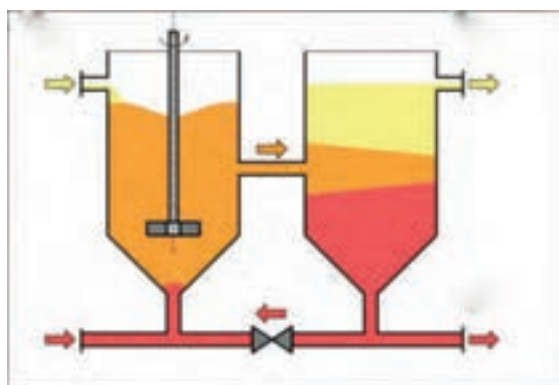
۵- Centrifugal Extractors



شکل ۱۳-۵ - تقسیم‌بندی دستگاه‌های استخراج

### دستگاه مخلوط کننده - ته‌نشین کننده

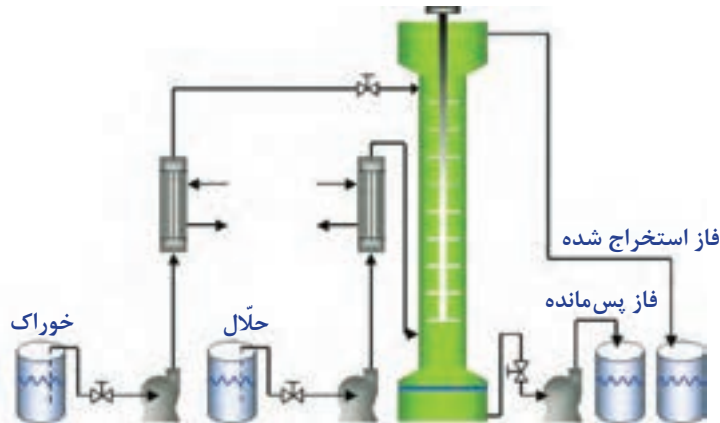
این نوع تجهیز، ساده‌ترین دستگاه استخراج مایع - مایع است که خوراک و حلال در یک مخزن با یک همزن به‌خوبی مخلوط شده و سپس برای ته‌نشینی به مخزن دیگر هدایت می‌شود (شکل ۱۴-۵). زمان اختلاط و ته‌نشینی توسط آزمایش‌های عملی تعیین می‌شود، اما به ترتیب زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه را می‌توان به عنوان تخمین اولیه در نظر گرفت. این نوع استخراج کننده می‌تواند شامل چند مخزن اختلاط و ته‌نشینی پشت سر هم (استخراج چند مرحله‌ای) باشد. این نوع دستگاه در صنایع استخراج فلزات کاربرد فراوان دارد.



شکل ۱۴-۵ - دستگاه‌های استخراج مخلوط کننده و ته‌نشین کننده

## دستگاه تماس دهنده‌های ستونی<sup>۱</sup>

این نوع دستگاه استخراج خود به دو دسته ایستا<sup>۲</sup> و متلاطم<sup>۳</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۱۵-۵). در نوع ایستا قطعه متحرکی وجود ندارد و فاز سبک و سنگین تنها به دلیل اختلاف چگالی، در طول ستون حرکت می‌کنند. اما در نوع متلاطم، یک عامل مکانیکی موجب اختلاط خوراک و حلال در طول ستون می‌شود.



شکل ۱۵-۵ - فرایند استخراج مایع - مایع با تماس دهنده‌های ستونی

## دستگاه استخراج گریز از مرکز

در این نوع استخراج‌کننده، محفظه استوانه‌ای شکل که دارای پوسته سوراخ‌دار هم مرکز است و روی یک محور افقی نصب شده است با سرعت ۳۰ تا ۸۵ دور در ثانیه می‌چرخد. مایعات (خوراک و حلال) از داخل محور وارد دستگاه می‌شوند (شکل ۱۶-۵). مایع سنگین در راستای قسمت بیرونی، به طرف خارج و مایع سبک به سمت داخل حرکت می‌کند.

این نوع استخراج‌کننده‌ها بسیار گران‌قیمت هستند، اما قادرند در یک فضای کوچک و زمان کوتاه، حجم بالایی از خوراک و حلال را در تماس قرار دهد. کاربرد اصلی آن‌ها در صنایع دارویی و استخراج مواد حساس به دما مانند آنتی‌بیوتیک‌ها و ویتامین‌ها است.



شکل ۱۶-۵ - دستگاه‌های استخراج مایع - مایع گریز از مرکز

۱- Column Contactors  
۲- Static  
۳- Agitated





علت رانده شدن مایع سنگین به پیرامون و مایع سبک به داخل در استخراج‌کننده گریز از مرکز چیست؟

بیشتر دانه‌های روغنی حاوی ۱۲ تا ۶۵ درصد روغن هستند و با توجه به درصد روغن یکی از دو روش استخراج به وسیله فشار (پرس) و استخراج با حلال استفاده می‌شود؛ البته برای دانه‌هایی که درصد روغن آنها تا حدود ۲۰ درصد باشد، فقط از روش استخراج با حلال استفاده می‌شود و برای دانه‌های پر روغن توسط فشار و سپس استخراج با حلال پیشنهاد می‌شود.

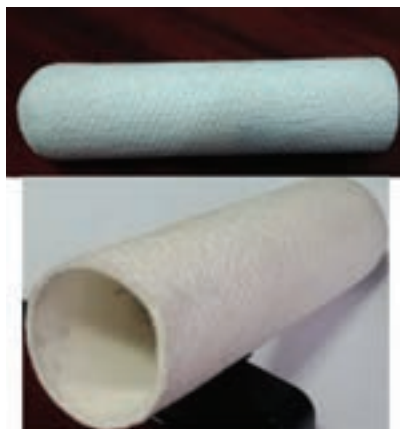
سازوکار فرایند استخراج روغن در حقیقت همان فرایند یا استخراج از درون جامد با مایع (حلال) است و بر این اساس استوار است که روغن تا زمانی که حل شدن حلال (نرمال هگزان) به حد سیرشده نرسیده باشد، در آن حل شده و از خلل و فرج دانه‌های روغنی خارج می‌شود و زمانی که حل شدن در حلال (هگزان) به حد سیرشده رسید، یک تعادل بین مایع خارج و مایع داخل جامد برقرار شده و به میزانی که مولکول روغن از دانه روغنی پولک شده خارج می‌شود، به همان تعداد مولکول روغنی وارد فاز جامد می‌شود. عواملی از قبیل دما، مدت زمان استخراج، میزان حلال، درصد رطوبت دانه، شکل هندسی و اندازه ذرات پولک‌شده بر فرایند استخراج تأثیر می‌گذارند.

### عصاره‌گیر سوکسله

عصاره‌گیر سوکسله یک دستگاه آزمایشگاهی است که در سال ۱۸۷۹ به دست فرانتس فون سوکسلت<sup>۱</sup> اختراع شد. دستگاه سوکسله از جنس شیشه و در اندازه‌های مختلف برای عصاره‌گیری مقدارهای متفاوت گیاه ساخته شده است.

مطابق شکل ۱۷-۵، دستگاه سوکسله از چهار قسمت منبع گرمایی، بالن، دستگاه سوکسله و خنک‌کننده تشکیل می‌شود. با این دستگاه می‌توان در سطح آزمایشگاهی از چند گرم تا چند کیلوگرم پودر گیاه را به کار برد. نمونه در مخزن سوکسله شکل (۱۸-۵) ریخته می‌شود و حلال در بالن ریخته می‌شود که در اثر گرما حلال بخار می‌شود و روی نمونه می‌ریزد. این چرخه وقتی که مخزن سوکسله پرشد، از طریق سیفون نازک شیشه‌ای دوباره به بالن برمی‌گردد و به این ترتیب چرخه تکرار می‌شود.

۱- Franz von Soxhlet



شکل ۱۸-۵- مخزن سوکسله



شکل ۱۷-۵- شمای ساده‌ای از سوکسله



### استخراج پیوسته به وسیله سوکسله

فعالیت  
آزمایشگاهی



مواد لازم	وسایل لازم
مغز گردو و اترنفت (پترولیوم اتر).	کاغذ صافی انگشتی، ترازو، سوکسله، بالن ته‌گرد، بشر، خنک‌کننده، گرم‌کن برقی، شیلنگ، گیره و پایه.

### شرح آزمایش

- ۱- مقدار ۱۰ گرم مغز گردو را خرد کنید (هرچه ذرات خردتر باشد بهتر است).
- ۲- گردوهای خردشده را داخل کاغذ صافی انگشتی<sup>۱</sup> بریزید و به آرامی وارد سوکسله کنید.
- ۳- داخل بالن ته‌گرد ۲۰۰ میلی‌لیتر اتر نفت بریزید و آن را به گیره ببندید.
- ۴- در این مرحله سوکسله و خنک‌کننده را روی بالن نصب کنید.
- ۵- شیر آب را باز کنید تا آب درون خنک‌کننده جریان یابد.
- ۶- در این مرحله گرمکن زیر بالن را روشن کنید.
- ۷- وقتی که اولین قطره حلال تقطیر شد و از سر خنک‌کننده چکه کرد، زمان را ثبت کنید. (توجه داشته باشید دستگاهی که نصب کرده‌اید، کاملاً عمودی باشد تا قطره‌های حلال روی مواد درون کاغذ بریزد).
- ۸- استخراج را به مدت پنج ساعت ادامه دهید.

۱- Thimble

نکته



هر چه زمان استخراج بیشتر باشد، روغن بیشتری استخراج می‌شود.

۹- بعد از پنج ساعت گرم کردن را قطع کنید و اجازه دهید سامانه خنک شود و همه بخارات در خنک کننده سرد و وارد فاز مایع شوند.

۱۰- ابتدا خنک کننده را بردارید و سپس سوکسله و در مرحله آخر بالن را از گیره جدا کنید.

۱۱- محتویات بالن را به بشر انتقال دهید و بگذارید حلال تبخیر شود. جرم روغن استخراج شده را حساب کنید و درصد روغن را به دست آورید.

نکته



اگر مقداری محلول درون سوکسله مانده است، آن را به آرامی و با دقت طوری که خرده‌های گردو وارد آن نشود، به بالن بریزید.

برای راحتی اندازه‌گیری جرم روغن، بهتر است بشر خشک را پیش از ریختن محلول وزن کنید و در مرحله آخر بشر و روغن را با هم توزین کنید و سپس جرم بشر را از آن کم کنید.

نکته ایمنی ۳



- در طول انجام دادن آزمایش باید شیلنگ‌های خنک کننده را به شکل مناسب تنظیم کنید و مراقب باشید شیلنگ‌ها با سطوح داغ تماس نداشته باشد، زیرا باعث ذوب شدن شیلنگ می‌شود.

- باید در تمام طول انجام دادن آزمایش آب درون خنک کننده جریان داشته باشد در غیر این صورت بخارات محلول از سامانه خارج می‌شود.

در طول انجام دادن آزمایش به دلیل فرار بودن اتر نفت از ماسک ایمنی استفاده کنید.

## ارزشیابی شایستگی پودمان دستگاه‌های جداکننده

### شرح کار:

- چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد؛
- هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند؛
- پس از انجام دادن کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

### استاندارد عملکرد:

- انجام دادن عملیات انتقال جرم (در صنایع شیمیایی)، کار با برج‌های تقطیر و برج‌های استخراج طبق دستور کار.

### شاخص‌ها:

- رعایت مسائل ایمنی در هنگام انجام دادن کار
- انجام دادن کار طبق دستور کار.

### شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه و آزمایشگاه      زمان: یک جلسه آموزشی  
 ابزار و تجهیزات: برج‌های تقطیر پر شده و سینی‌دار، الک‌ها، لوازم شیشه‌ای آزمایشگاهی، دستگاه سوکسله و گرمکن برقی

### معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	کمترین نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	به کارگیری روش‌های جداسازی در صنایع شیمیایی	۲	
۲	کار با برج‌های تقطیر	۲	
۳	کار با برج‌های استخراج	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام دادن کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام دادن کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۵- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
	<b>میانگین نمرات</b>		*

\* کمترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

- ۱- برنامه درسی درس عملیات و دستگاه‌ها در صنایع شیمیایی رشته صنایع شیمیایی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش، ۱۳۹۲.
- ۲- ارنست لودویگ، «طراحی فرآیندهای کاربردی»، جلد سوم، ویرایش سوم، ۲۰۰۱.
- ۳- استنلی والاس، ۲۰۱۲، «تجهیزات فرآیندهای شیمیایی»، ویرایش سوم.
- ۴- «استاندارد مهندسی برای طراحی فرآیندی و انتقال مایع و گاز و ذخیره سازی»، استانداردهای نفت ایران شماره IPS-E-PR-۳۶۰، ویرایش اول، اسفند ۱۳۸۷.
- ۵- اکتاو لوناشپیل، ترجمه: مرتضی سهرابی، ۱۳۹۲، چاپ چهارم، طراحی رآکتورهای شیمیایی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- ۶- بهمنیار، حسین ۱۳۹۴. انتقال جرم، تهران، جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.
- ۷- توفیقی، سید پندار، صدرایی نوری، ساسان، ۱۳۹۴، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۸- توفیقی سید پندار، صدرایی نوری ساسان، ۱۳۹۴، کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۹- چالکش امیری، محمد ۱۳۸۶ اصول انتقال جرم، تهران، انتشارات ارکان.
- ۱۰- خراط ریاض، محبی، علی، فضائل‌پور، محمدحسن، ۱۳۸۸، «اصول موازنه مواد و انرژی در مهندسی شیمی و نفت»، چاپ اول انتشارات دانشگاه شهید باهنر.
- ۱۱- دیویدهمیل بلاو، مرتضی سهرابی، ۱۳۹۲، اصول بنیانی و محاسبات در مهندسی شیمی، چاپ بیست و دوم، انتشارات امیرکبیر.
- ۱۲- رازی فر، مهدی، ۱۳۹۴، طراحی تجهیزات فرآیندی، انتشارات اندیشه سرا.
- ۱۳- رابرت تربیال ۱۹۸۱. عملیات واحد، ترجمه: پریسا زینی ۱۳۹۳، تهران: نهر دانش.
- ۱۴- رابرت مادوکس، آنتونی هانیز ۱۹۸۴. اصول و کاربرد انتقال جرم، ترجمه: جلال الدین هاشمی و محمد علی آرون ۱۳۸۵. تهران: انتشارات آینده سازان.
- ۱۵- سمیع پور، محمد ۱۳۸۹. انتقال جرم و عملیات واحد، تهران، انتشارات پوران پژوهش.
- ۱۶- سیف محدثی، سیدرضا، محمود سلیمی، مهندسی واکنش‌ها و اصول اولیه طراحی رآکتورهای شیمیایی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی اراک، چاپ اول، زمستان، ۱۳۹۴.
- ۱۷- فرانک اینکروپرا، ۲۰۱۱، اصول انتقال حرارت و انتقال جرم، ویرایش هفتم، انتشارات آوند دانش.
- ۱۸- عابدینی، منصور، ۱۳۹۴، آزمایشگاه شیمی عمومی، چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۱۹- مجتهدی، علی، باقری، مهدی، ۱۳۸۷، مبانی مهندسی واکنش‌های شیمیایی و طراحی رآکتورها، چاپ اول، انتشارات جنگل.
- ۲۰- مک کیب، اسمیت - هریوت ۱۹۵۶، عملیات واحد مهندسی شیمی. ترجمه: بهرام پوستی ۱۳۹۰ تهران: نشر کتاب دانشگاهی.

۲۱- نصرزادانی، مهدی، پمپ‌ها، انواع، اصول کار، بهره برداری، تعمیرات و عیب یابی، اداره آموزش پالایشگاه نفت اصفهان.

22 - Ludwig, -Applied process design for chemical and petrochemical plants, Volume 1, third edition

23 - Harry silla, 2003, Chemical Process engineering design and economics

24 - "Improve Selection and Sizing of Storage Tanks", A. Heydari Gorji, H. Kalat Jari, Sazeh Consultant, Hydrocarbon Processing, 2006

25 - McCabe, W., Smith, J.C., & Harriott, P. (2004), Unit Operations of Chemical Engineering, 7th ed., Mc GrawHill Chemical Engineering Series.

26 - Treybal, R. E. (1990), Mass Transfer Operations, 3rd ed., Mc Graw Hill Chemical Engineering Series.





هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را درباره مطالب این کتاب از طریق نامه  
به نشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار [tvoccd@roshd.ir](mailto:tvoccd@roshd.ir) ارسال نمایند.

وب گاه: [www.tvoccd.medu.ir](http://www.tvoccd.medu.ir)

دفترتالیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کار دانش

## همکاران هنر آموز که در فرایند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت داشته اند

- ۱- استان فارس: محسن کدیور، گوهر دیلمی راد
- ۲- استان کرمان: نعیمه سیف الدینی، نسرین اسلامی
- ۳- استان آذربایجان شرقی: نادر مولوی، فرهاد همتی
- ۴- استان همدان: حسن بشیریان
- ۵- استان خوزستان: اسدالله امیدی بیرگانی، فرحناز چهارمحالی جعفرزاده
- ۶- استان سمنان: شهرزاد جورابلو، مریم هدایتی
- ۷- استان مرکزی: سید محمد میرنظامی